

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE ECONOMÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ECONOMÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LOS
RECURSOS NATURALES

ARTÍCULO PUBLICABLE

**PLANTEAMIENTOS SOBRE EL MANEJO SOSTENIBLE DEL BOSQUE
NATURAL EN COLOMBIA Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO
DESDE UNA PERSPECTIVA ECONÓMICA**

PRESENTADO POR

WILFER ORLANDO PADILLA PINTO

ASESOR

JORGE HIGINIO MALDONADO
Ph.D. ECONOMÍA AGRÍCOLA, AMBIENTAL Y DEL DESARROLLO

SANTAFÉ DE BOGOTÁ, D. C.
2005

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus agradecimientos a:

Jorge H. Maldonado, como asesor del trabajo y amplio conocedor del tema, me orientó durante este proceso con valiosos aportes teóricos y prácticos en el desarrollo de la investigación; además, de ser uno de los profesores que más admiro en la vida.

Eduardo Uribe Botero, Coordinador del BID para el Programa del FEMAR y evaluador de mi trabajo. Siempre ha mostrado ser justo y atento para brindar apoyo a sus estudiantes.

Camilo Aldana Vargas, Director de la Corporación Nacional de investigación y Fomento Forestal (CONIF) y evaluador de mi trabajo. Gracias a su buena voluntad y gran conocimiento del tema, recibí oportunamente sugerencias tendientes al mejoramiento de la investigación.

Harold Coronado, Director del FEMAR, quien colaboró permanentemente para la finalización del ciclo académico.

Mi Madre, Deicy Yaqueline, mis Hermanos y Yaneth contribuyeron enormemente para la realización de este sueño...

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	
INTRODUCCIÓN.....	7
OBJETIVOS	11
OBJETIVO GENERAL.....	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
JUSTIFICACIÓN.....	12
HIPÓTESIS.....	12
REVISION DE LITERATURA.....	13
1.1 El Sector Forestal en Colombia	13
1.1.1 Características generales.....	13
1.1.2 Aspectos económicos.....	15
1.1.3 Aspectos legales relacionados con el manejo forestal en Colombia	17
1.1.4 Perspectivas del bosque natural en Colombia.....	18
1.2 Relación entre el Bosque Natural y la Reducción del Calentamiento Global.....	19
2. METODOLOGIA.....	22
2.1 MODELO TEORICO	22
2.1.1 Proyección del bosque natural en Colombia, dadas las condiciones actuales de aprovechamiento.....	22
2.1.2 Aprovechamiento óptimo del bosque natural en Colombia y escenarios alternativos para alcanzar el estado estacionario.....	24
2.1.3 Determinación del turno óptimo para el bosque natural	29
2.1.4 Captura de dióxido de Carbono por los bosques naturales	29
2.2 INFORMACIÓN ESTADÍSTICA.....	30
2.3 SOLUCIÓN AL MODELO TEÓRICO PROPUESTO	34

2.3.1	Proyección del bosque natural en Colombia, dadas las condiciones actuales de aprovechamiento.....	34
2.3.2	Aprovechamiento óptimo del bosque natural en Colombia y escenarios alternativos para alcanzar el estado estacionario.....	37
2.3.3	Determinación de turno óptimo para el bosque natural.....	39
2.3.4	Captura de dióxido de Carbono por los bosques naturales	40
	RESULTADOS.....	43
	CONCLUSIONES	47
	RECOMENDACIONES.....	49
	BIBLIOGRAFIA.....	51
	ANEXOS.....	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos estadísticos para el bosque natural en Colombia.....	33
Tabla 2. Volumen mercadeable por acre, para “Douglas fir”	33
Tabla 3. Tendencia en el aprovechamiento del bosque natural en Colombia.....	35
Tabla 4. Desarrollo sostenible para el bosque natural en Colombia.....	38
Tabla 5. Determinación del Incremento Volumétrico Comercial Anual para el Bosque Natural y su Relación con la Captura de Dióxido de Carbono.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Uso de Tierras en Colombia.....	30
Figura 2. Productos forestales.....	31
Figura 3. Madera en Rollo.....	31
Figura 4. Madera A serrada.....	31
Figura 5. Combustible de Leña.....	31
Figura 6. Pulpa de Madera.....	32
Figura 7. Tendencia del Valor Presente Neto de los Beneficios (PVNBt).....	36
Figura 8. Tendencia del Bosque Natural en Colombia.....	37
Figura 9. Estados Estacionarios Óptimos.....	39
Figura 10. Senda de desarrollo del Bosque Natural en Colombia.....	40
Figura 11. Senda de Captura de CO ₂ para el Bosque Natural.....	42

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A

Tabla A.1	Uso de tierras en Colombia.....	54
Tabla A.2	Productos forestales.....	55
Tabla A.3	Madera en Rollo.....	56
Tabla A.4	Madera Aserrada.....	57
Tabla A.5	Combustible de Leña.....	58
Tabla A.6	Pulpa de Madera.....	59

ANEXO B	Mapa: coberturas boscosas en Colombia.....	60
----------------	--	----

ANEXO C

Tabla C.1.	Tendencia en el aprovechamiento del bosque natural en Colombia..	61
------------	--	----

ANEXO D

Tabla D.1.	Desarrollo sostenible para el bosque natural en Colombia.....	63
------------	---	----

ANEXO E

Tabla E.1.	Estimación Econométrica, Ecuación Cúbica.....	66
------------	---	----

ANEXO F

Tabla F.1.	Determinación del Incremento Volumétrico Comercial Anual para el Bosque Natural y su Relación con la Captura de Dióxido de Carbono.....	67
------------	---	----

RESUMEN

Los recursos forestales en Colombia ofrecen una diversidad de posibilidades para su explotación; sin embargo, los mayores esfuerzos por parte de las instituciones que tienen influencia en el tema se han enfocado en su protección y conservación, sin que esto haya surtido el efecto esperado, ya que la explotación ilegal cobra mayores cantidades de productos maderables cada día. Para dar una posibilidad de desarrollo al sector se ha desarrollado la ley general forestal que reúne los conceptos de la normatividad vigente con miras a un manejo óptimo de los recursos provenientes del bosque natural; de esta manera, se plantea el desarrollo sostenible como una alternativa en su explotación y aprovechamiento. Los lineamientos que se tratan en el presente estudio contienen elementos básicos sobre el manejo del bosque natural en Colombia y trata concretamente los modelos bioeconómicos como la mejor alternativa en la actualidad para alcanzar el desarrollo sostenible en el aprovechamiento de los recursos naturales. Se interrelaciona la teoría económica con el manejo del bosque natural y se proponen sendas de aprovechamiento que incidirán positivamente en el desarrollo del sector forestal. Se ha incluido el análisis del bosque natural con relación a la captura de dióxido de carbono y se prevé que se convertirá en motivo de discusión con los países industrializados para que los bosques naturales obtengan beneficios económicos por la regulación sobre el calentamiento global, dado un previo programa de manejo forestal que incluya los aspectos de mayor relevancia consignados en el presente estudio.

PALABRAS CLAVES: Calentamiento global, estado estacionario, turno forestal, desarrollo sostenible, aprovechamiento óptimo, modelos bioeconómicos.

INTRODUCCIÓN

Los desarrollos teóricos relacionados con la aplicación de modelos bioeconómicos son cada vez más importantes y necesarios en el aprovechamiento óptimo de los recursos naturales. Una de las principales motivaciones del estudio es analizar las características generales del bosque natural en Colombia y hacer consideraciones acerca de su potencialidad en la producción de materias primas y reducción del calentamiento global por la captura de dióxido de carbono, basado principalmente en los reportes de área boscosa reportada por FAO¹ (2004)

Quando se quiere precisar sobre el manejo óptimo de un recurso natural es necesario plantear ciertos interrogantes que nos aproximen a su verdadero valor económico, tales como: ¿Cuánto valen?, ¿Cuáles son los esquemas apropiados para valorarlos? y ¿Cuál es la mejor opción de aprovechamiento?; sin olvidar las dificultades conceptuales existentes para la valoración económica, en cuanto hace referencia a las escalas espacio – temporales de los estados y procesos biológicos.

El carácter de este documento es orientador y en él se pretende realizar un análisis económico sobre los productos maderables del bosque natural en Colombia, excluyendo las áreas de protección tales como áreas indígenas y de resguardos como también los santuarios de flora y fauna. Se propondrán alternativas de aprovechamiento y se tomarán en cuenta los principios de sostenibilidad contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de junio de 1992 sobre Medio Ambiente y Desarrollo; además de evaluar su relación con la reducción del calentamiento global por secuestro de dióxido de carbono que es una de las fortalezas que empieza a tomar importancia y puede proveer nuevos lineamientos sobre el manejo de los bosques naturales.

¹ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2004. *Plana Plazo Medio*. Roma

El conocimiento sobre las perspectivas del bosque es esencial para desarrollar sanas políticas forestales; para esto, uno de los elementos críticos sobre la planeación efectiva de largo plazo es la información sobre niveles de demanda y fuentes de suministro, los cuales serán revisados de acuerdo a la base de datos proporcionada por FAO² (1961 – 2004).

Los estudios encontrados de valoración económica para el sector forestal usan enfoques ecológicos, políticos, sociales, inventarios y cuantificación de la masa forestal, etc., los cuales revisan aspectos inherentes al sector en forma general. El presente análisis propone realizar simulaciones acerca de su aprovechamiento, para establecer políticas sobre el uso óptimo de las áreas boscosas en Colombia.

La información estadística existente para el sector forestal es desactualizada en algunos casos, presentando ciertas diferencias cuantitativas entre las instituciones que la proveen. Sin embargo, se utilizará información oficial emitida por FAO, DNP, CONF, entre otras entidades de interés. Acosta³ (2004), en su trabajo tendencias y perspectivas del sector forestal en Colombia, proporciona algunos datos para el sector y formarán parte de los análisis del presente estudio.

Se debe tener en cuenta que el sector forestal es increíblemente diverso. Los tipos de ecosistemas no solo varían desde los páramos, pasando por los bosques de niebla hasta los de tipo xerofítico y culminando con los manglares, sino también el acceso y manejo de éstos. El estudio se concentrará en la evaluación de las áreas de interés en el aprovechamiento de materias primas para la industria de la madera excluyendo áreas de protección y de resguardos indígenas y tratará su relación con la reducción del calentamiento global por el secuestro de dióxido de carbono.

² Bases de Datos de FAO, 1961 – 2004. *Producción Forestal Proveniente de Bosques Naturales y de Plantaciones Comerciales de Especies Exóticas*. Datos cortetransversal.

³ Acosta, C. I., 2004. *Estudio de Tendencias y Perspectivas del Sector Forestal al 2020 de Colombia*. Roma, FAO, 99 p.

El problema del calentamiento de la tierra podría mitigarse por dos grupos de solución: a) reduciendo las emisiones o b) capturando estos gases. Esta última solución brinda una gran oportunidad al sector forestal. De acuerdo con Sedjo y Sohngen⁴ (2000), los bosques han sido considerados por tener un potencial en la reducción de la concentración atmosférica de dióxido de carbono, secuestrando carbono tanto en el tallo, ramas y hojas como en la parte radicular; esto puede incidir sobre los precios futuros de la madera industrial.

La creciente evolución industrial, el aumento de emisiones contaminantes que inciden en el calentamiento global y el potencial que nuestros bosques presentan en la captura de dióxido de carbono son aspectos importantes de cuantificar, en la determinación de la importancia económica de una de las externalidades positivas ambientales más relevante de los bosques.

Aldana⁵ (2003), habla acerca de los países en desarrollo que incurren frecuentemente en aspectos negativos en el aprovechamiento del bosque por el afán de comercializar sus productos primarios, tales como la conversión de sus ecosistemas en usos alternativos para la producción de bienes, transfiriendo no solo los bienes producidos sino también, gran parte de la renta que ellos pueden generar a través de los servicios ambientales.

Se pretende contribuir con un pilar fundamental de una serie de estudios similares que podrán ser detallados por tipo de bosque, ecosistema, rodal, especie, etc., después de conocer los resultados actualizados del inventario forestal nacional que se tiene previsto en la actualidad por parte de las instituciones estatales que infieren en el manejo de los recursos naturales en Colombia.

⁴ Sedjo, R. y Sohngen, B., 2000. *Forestry Secuestration of CO₂ and Markets for Timber*. Resources of the Future. Discussion Paper 00-35, Washinton D.C.

⁵ Aldana, V. C., 2003. *Las Externidades Forestales*. Academia Colombiana de Ciencias Económicas. Santa Fe de Bogotá, 43 p.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis económico del bosque natural en Colombia, haciendo planteamientos sobre manejo sostenible y su relación con la reducción del calentamiento global.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

A partir del incremento esperado en la demanda de productos forestales para los próximos años y analizando el bosque natural como un recurso natural no renovable, efectuar una aproximación hacia su valor de mercado.

Considerando que el bosque natural en realidad es un recurso natural renovable, realizar un análisis que permita determinar el estado estacionario desde tres perspectivas, cuando el beneficio neto solo depende de la extracción, cuando depende tanto de la biomasa como de la cosecha y cuando se trata el principio de equidad intergeneracional.

Determinar el turno óptimo para el aprovechamiento forestal en bosques naturales, relacionándolo como punto de referencia para negociaciones sobre la captura de dióxido de carbono.

Analizar la relación económica y ambiental existente entre el bosque natural y la reducción del calentamiento global.

JUSTIFICACIÓN

Según FAO⁶ (2004), nuestra dependencia de los recursos naturales y la estrecha relación con su capacidad para satisfacer las necesidades básicas de la población hacen indispensable estudiar su fragilidad ante los requisitos cada vez mayores de la humanidad. Para la ciencia económica constituye un reto elaborar métodos que tengan como objetivo el análisis de estos fenómenos, ya que por un lado está obligada a interactuar con otras disciplinas científicas para el análisis de los mismos y por otro debe tratar de que se logren asignaciones eficientes de los recursos naturales.

Los modelos bioeconómicos son actualmente la mejor alternativa para evaluar el comportamiento de los recursos naturales a través del tiempo. De esta manera, se puede inferir con mayor claridad sobre las políticas a seguir para alcanzar un manejo óptimo y el aprovechamiento sostenible del bosque natural en Colombia.

HIPÓTESIS

Se pretende probar que el bosque natural en Colombia no ha sido aprovechado adecuadamente y la ineficiencia en su manejo hace prever la degradación del recurso, conllevando a que los beneficios económicos obtenidos de su explotación sean inferiores a la potencialidad existente.

Esta hipótesis se basa en los siguientes supuestos: las plantaciones con que cuenta el país son insuficientes para satisfacer la demanda futura y la valoración económica, atendiendo principios de optimización en el aprovechamiento de los recursos del sector forestal, es determinante para lograr su conservación y uso sustentable (FAO, 2004).

⁶ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2004. *Plana Plazo Medio*. Roma.

REVISION DE LITERATURA

1.1 El Sector Forestal en Colombia

1.1.1 Características generales

Haciendo una revisión de algunos estudios realizados para este sector, desde 1984 hasta 2004, se han encontrado diversos aspectos generales que dan un punto de partida al análisis que se pretende desarrollar.

Hacia 1986, el país contaba con 78 millones de has de aptitud forestal (68% del área total del país), pero cubierta con bosques naturales 53.1 millones y alrededor de 170.000 has con plantaciones forestales. De la superficie cubierta con bosques naturales se consideró que 39.1 millones de has son potencialmente comercializables; sin embargo desde el punto de vista económico y ecológico solo 2.1 millones de has serían aprovechables para madera con un potencial para la época de 56.9 millones de m³. De igual forma, la oferta de plantaciones forestales hasta 1987 se calculaba en 175.652 has reforestadas con fines comerciales y el nivel de corta se estimó en 5.200 has año con un volumen de madera de 1.3 millones de m³ madera en pie (Motta⁷, 1989).

En Colombia existen 206 especies forestales, cada una de ellas denominada de manera diferente según la región (consultas sobre su clasificación botánica se pueden obtener en Amaral et al (1998)). De éstas, 60 son comercializables como madera, aceites, fibras o frutales; 48 tienen productos derivados con posibilidades comerciales y de las 98 restantes se sabe poco sobre sus características técnicas (CGR⁸, 1992).

⁷ Motta, M. T., 1989. *Industria Forestal Colombiana*. Departamento nacional de planeación, v1, p48, Bogotá D. C.

⁸ Contraloría General de la República, 1992. *Informe Sobre el Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente*. Santafé de Bogotá D.C.

El estado actual de los bosques naturales de acuerdo al grado de intervención humana en el territorio nacional se divide en tres áreas: las intensamente intervenidas (26%), las parcialmente intervenidas (15%), y las levemente o no intervenidas (59%). Las primeras corresponden a los agroecosistemas, la explotación minera, las ocupadas por asentamientos humanos y los bosques plantados. Las segundas comprenden los agroecosistemas fragmentados y las sabanas orientales ocupadas por ganadería extensiva. Las terceras están constituidas por la Amazonía, algunas áreas del Pacífico y otras de difícil acceso, como el tapón del Darién y zonas con fuertes pendientes (CGR⁹, 2001 – 2002).

Según Acosta¹⁰ (2004), el 49% del territorio nacional (55 millones has) se encuentra bajo cobertura de *bosques naturales*, de los cuales 39 millones contienen especies maderables con dimensiones apropiadas para uso industrial. La magnitud de las *plantaciones forestales comerciales* hasta finales del 2002 se estima en 174,241 has. Las *plantaciones forestales protectoras* durante el período 1998 – 2001, corresponden a 75,791 has reforestadas. Los *bosques en áreas protegidas* cubren unos 14 millones de has. La pérdida anual de cobertura boscosa es de 91.932 has y una ganancia media anual de 36.858 has que básicamente se origina en tierras abandonadas de previas zonas de colonización que ampliaron la frontera agrícola. Se estima que durante el período 1990 – 2000 la *producción de madera industrial en rollo* ha oscilado entre 2,5 y 3,7 millones de m³ por año. Algo más de un 50% es consumido por la industria del aserrío y lo restante por las industrias de tableros y pulpa de madera.

FAO¹¹ (2004) reportó que la cobertura boscosa de Colombia pasará de 49'601.000 has en el 2000 a 45'780.000 ha en el 2020, significando una reducción del 8%. Además, hace referencia al manejo del medio natural y los cambios históricos radicales a que ha sido sometido, por la imposición de

⁹ Contraloría General de la República, 2001 – 2002. *Informe Sobre el Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente*. Santafé de Bogotá D.C.

¹⁰ Acosta, C. I., 2004. *Estudio de Tendencias y Perspectivas del Sector Forestal al 2020 de Colombia*. Roma, FAO, 99p.

¹¹ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2004. *Plana Plazo Medio*. Roma.

modelos distintos en el uso de la tierra, así como por el constante aumento de población y procesos de modernización.

En la actualidad tienden a decrecer las hectáreas de bosques naturales en Colombia debido a la falta de inversión y, en algunos casos, a la ausencia total de acercamiento entre comunidades dueñas del recurso y el sector productivo, contribuyendo a la falta de procesos integrados de manejo y comercialización de los bienes y servicios producidos por el bosque (FAO¹², 2004).

1.1.2 Aspectos económicos

La demanda mundial de madera industrial se puede satisfacer en medida creciente con madera proveniente de bosques explotados con sistemas sostenibles de silvicultura. La población acepta tener que pagar por la madera, el carbón y los postes, y se han creado mercados para estos productos (Banco Mundial¹³, 1991).

El nivel de comprensión y de interés del mundo entero acerca del sector forestal de los países en desarrollo ha aumentado considerablemente día tras día, siendo evidente que los bosques y las zonas arboladas desempeñan un papel económico y ecológico aún más importante de lo que se creía. Los bosques cubren más del 25% de la superficie terrestre y es un importante elemento del medio ambiente y la economía del mundo en desarrollo (Banco Mundial, 1991).

Colombia es un país rico en recursos forestales representados en la gran variedad de la vegetación, suelos y relieve. Sin embargo el acelerado proceso de urbanización y de expansión de la frontera agrícola ha derivado en altas tasas de deforestación, lo cual se ha visto contrarrestado en los últimos años por la

¹² Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2004. *Plana Plazo Medio*. Roma.

¹³ Banco Mundial, 1991. *El Sector Forestal*. Documento de política.

introducción de programas de reforestación en el marco del Plan Nacional de Desarrollo Forestal (PDNF) para Colombia iniciado en 1989 (DNP¹⁴, 1991).

CGR¹⁵ (1992) determinó que en promedio el país consume aproximadamente 4 millones de m³ de madera en bruto por año, de los cuales, 1.5 millones de m³ son abastecidos por plantaciones forestales y el resto, 2.5 millones de m³, por los bosques naturales. De este volumen se aprovecha efectivamente como materia prima el 40%; el resto se desperdicia en el proceso productivo, por razones técnicas y por problemas de calidad de la madera. Estas cifras indican que existe un recurso forestal extenso y valioso, pero la experiencia muestra que la capacidad para degradarlo y agotarlo supera ampliamente las capacidades de conservarlo y usarlo de manera continuada, como también de sustituirlo progresivamente por un sistema de plantaciones forestales que supla las necesidades, aliviando la presión extractiva sobre el bosque natural.

La participación forestal en el PB corresponde al 1.1%, teniendo en cuenta que esta cifra se relaciona con la actividad legal, cuando en realidad existe en Colombia una cantidad no cuantificada de madera que se aprovecha sin las licencias reglamentarias y este tipo de madera podría ser equivalente a la talada en forma autorizada. Para el análisis económico de la reforestación en Colombia en la década de los noventa, se tomó como referencia el aporte de los proyectos a la economía en su conjunto y al bienestar de la sociedad; de este estudio se concluyó que la reforestación genera externalidades positivas que provocan que los beneficios sociales sean mayores que los apropiados por los productores y estos efectos constituyen la diferencia entre los beneficios privados y los sociales (CGR¹⁶, 1996).

¹⁴ Departamento de Planeación Nacional, 1991. *Plan de Acción Forestal para Colombia*. Santafé de Bogotá D.C.

¹⁵ Contraloría General de la República, 1992. *Informe Sobre el Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente*. Santafé de Bogotá D.C.

¹⁶ Contraloría General de la República, 1996. *Informe Sobre el Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente*. Santafé de Bogotá D.C.

La economía tiene dos tareas por realizar: la primera consiste en demostrar la utilidad de la valoración económica de los recursos naturales y su aplicación en la gestión ambiental. La segunda radica en indagar cómo la valorización sirve para diseñar o bien fortalecer los instrumentos de política ambiental que posibilitan una gestión sustentable de éstos recursos (Martínez¹⁷, 2000).

1.1.3 Aspectos legales relacionados con el manejo forestal en Colombia

En Colombia se está tramitando la ley general forestal que tiene como prioridad llevar al sector hacia un ámbito de desarrollo en cuanto al aprovechamiento y manejo del bosque; ésta contempla la posibilidad de un nuevo esquema de clasificación de las áreas forestales, de tal forma que el país pueda ser competitivo con la posibilidad de un mayor crecimiento económico y social, acorde a sus ventajas comparativas frente a otros países de tradición forestal, gracias a la amplia oferta de recursos forestales.

La unificación de criterios y conceptos técnicos relacionados con las normas legales que hasta hoy rigen en el país, tales como el Decreto – Ley 2811 por el cual se crea el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y no Renovables de 1974, Decreto 1754 de 1991, Decreto 1824 de 1994, inciso 2º del Artículo 338 de la Constitución Política de 1991, Ley 16 de 1990, Ley 21 de 1991, Leyes 70, 80, 101 de 1993, Ley 99 de 1993, Ley 139 de 1994, entre otros, es uno de los propósitos relevantes de la Ley General Forestal dado que las normas existentes presentan contradicciones en su contenido, no obstante todas proponen la conservación del bosque natural, sin prever que los recursos basados en la optimización de su aprovechamiento conllevan una mejor dinámica en el desarrollo de los mismos, a la vez que generan al país mejores posibilidades económicas y sociales.

¹⁷ Martínez, G. A., 2000. *Elementos que Delimitan la Valoración de un Bien o Servicio Ambiental*. Instituto Nacional de Ecología, México, 24p.

En cuanto a las políticas que el Gobierno Nacional impulsa en el sector Forestal se tiene el PNDF que tiene como fin principal establecer un marco estratégico que incorpore activamente el sector forestal al desarrollo nacional, optimizando las ventajas comparativas y promoviendo la competitividad de productos forestales maderables y no maderables en el mercado nacional e internacional, a partir del manejo sostenible de los bosques naturales y plantados (Gerencia del PNDF¹⁸, 2004).

Aldana¹⁹ (2003) comenta que hay profusión de normas ineficaces y contraproducentes para tratar de proteger al bosque natural, que junto con su ineficiente administración, constituyen trabas y obstáculos para aprovechar el bosque sosteniblemente, estimulan la ilegalidad y afectan negativamente el desarrollo de plantaciones. Además, no hay claridad sobre obligaciones y derechos (como el derecho a cosechar lo plantado), ni sobre la permanencia de los mismos. Una actividad cuya decisión de inversión se toma para muchos años debe disponer de unas reglas claras y estables que disminuyan la incertidumbre y el riesgo sobre la posibilidad de recuperar la inversión y apropiar sus rendimientos.

1.1.4 Perspectivas del bosque natural en Colombia.

El sector forestal colombiano presenta una serie de atributos y ventajas comparativas que lo posicionan a futuro como una opción importante de crecimiento y bienestar socioeconómico. Las tendencias de los mercados internacionales de maderas tropicales muestran que Colombia, como país tropical, presenta una serie de ventajas comparativas importantes para incorporar en las dinámicas económicas los bienes y servicios ambientales suministrados por los ecosistemas forestales (Gerencia del PNDF, 2004).

¹⁸ Gerencia del PNDF, 2004. Agencia Colombiana de Cooperación Internacional, Comité Interinstitucional del Plan Nacional de Desarrollo Forestal – PNDF. Bloque temático: Bosques. Bogotá D.C.

¹⁹ Aldana, V. C., 2003. *Las Externalidades Forestales*. Academia Colombiana de Ciencias Económicas. Santa Fe de Bogotá, 43p.

Colombia enfrenta la gran frustración de poseer un enorme potencial para el desarrollo forestal y simultáneamente haber logrado hasta ahora un mínimo desarrollo de ese potencial; la contradicción de tener excelentes posibilidades de acrecentar su patrimonio forestal y, al mismo tiempo, contemplar su progresivo aniquilamiento; la gran paradoja de tener grandes riquezas naturales y, a la vez, a buena parte de su población sumida en la miseria (Aldana²⁰, 2003).

Tecniforest Ltda²¹. (1999) concluye que si se continúa con los actuales niveles de demanda de madera y según la cantidad disponible, se prevé que el bosque natural participará en la oferta hasta el año 2.017. Esta situación ocurrirá si se continúa con las prácticas de manejo tradicional y se utilizan únicamente las áreas con potencialidad actual.

Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, se pueden vislumbrar deficiencias en el manejo forestal, lo que sugiere que se deben encontrar nuevos métodos de aprovechamiento y comercialización de los productos y subproductos en conjunto con los servicios ambientales, como es el caso del secuestro de dióxido de carbono.

1.2 Relación entre el Bosque Natural y la Reducción del Calentamiento Global.

Los países desarrollados que han adquirido compromisos para reducir emisiones de gases efecto invernadero pueden cumplirlos financiando proyectos que reduzcan las emisiones de GEI en los países en desarrollo, a través de la compra de certificados de retención de carbono transados en el mercado; los países industrializados podrán utilizar unidades de reducción de emisiones logradas por

²⁰ Aldana, V. C., 2003. *Las Externalidades Forestales*. Academia Colombiana de Ciencias Económicas. Santa Fe de Bogotá, 43p.

²¹ Tecniforest, Ltda., 1999. *Informe Final, Evaluación de la Oferta y la Demanda Nacional de Productos Forestales Maderables y no Maderables*. Santafé de Bogotá, 39 p.

estos proyectos para ayudar al cumplimiento de sus objetivos (Chichilnisky y Heal²², 1994).

González²³ (1998) reportó que a nivel global el dióxido de carbono contribuye con el 30% de los efectos de gases invernadero. Su concentración en la atmósfera presenta un continuo incremento a partir de la revolución industrial. Desde aquella época, la concentración de CO₂ ha aumentado en cerca de 25%, principalmente por el empleo de combustibles fósiles, la agricultura y el cambio de uso de la tierra (prácticas de deforestación).

Molano²⁴ (2000) se refiere al promedio anual de emisiones de CO₂ generadas por los países industrializados, el cual pasó de 93'000.000 de t de CO₂/año en 1860 a 5.000'000.000 t de CO₂/año en la actualidad; además habla que el costo por evitar la emisión de cada tonelada de CO₂ es superior a los US\$ 100, de tal manera que la reducción de las emisiones en los porcentajes requeridos por cada una de las naciones signatarias del Protocolo de Kyoto, se hace económicamente imposible.

Cabrera²⁵ (2002) comenta que el producto transado es el servicio de captación y transformación de CO₂ en azúcares y oxígeno (O₂), que en el caso forestal se realiza mediante el proceso fotosintético de los árboles. Los países Anexo I obtienen *unidades transitorias certificadas de reducción de emisiones* (TCER's) (Art. 12 del PK). En otras palabras, el servicio que los proyectos forestales generan es la captura de CO₂, cuya unidad de cambio son estos TCER's y su unidad de valor es US\$/t - CO₂; el rango de precios de transacciones conocidas es de US\$ 0,25 hasta 1,25 por tonelada métrica de dióxido de carbono. También indica que las proyecciones de los precios en los años del período de

²² Chichilnisky G. y Heal G., 1994. *Who Should Abate Carbon Emissions: An International Viewpoint*. Economics Letters, pages 443– 449.

²³ González, F., 1998. *Inventario Preliminar de Gases Efecto Invernadero, Fuentes y Sumideros*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Santafé de Bogotá, D.C., 36 p.

²⁴ Molano, M., 2000. *Las Plantaciones Forestales como Sumideros de CO₂*. Universidad Distrital y Empresa Nacional Minera –MINERCOL Santafé de Bogotá, D.C., 16 p.

²⁵ Cabrera, Pe R. J., 2002. *El Mercado del CO₂, Características y Elementos Críticos*. Instituto Forestal, Santiago de Chile, 25 p.

cumplimiento de Kyoto (año 2008), estarán en un rango de U\$ 4 a U\$ 10 por Mt/CO₂

Aldana²⁶ (2003) hizo algunas precisiones acerca del mercado de certificados de retención de carbono, comentando que el CO₂, es uno de los gases efecto invernadero que alteran el clima mundial con enormes perjuicios potenciales para la población. Así mismo, hace referencia a que el potencial nacional de tierras susceptible de ser aprovechado con cultivos forestales bajo esquemas de producción sostenible y de manera competitiva se estima en 25 millones de has; sin embargo resultaría más rentable hacer ordenación de los bosques nativos existentes.

El tamaño del mercado lo determinan al menos los 36 países del Anexo I que tienen determinados montos de compromisos de reducción de emisiones. El primer período de compromiso se inicia el 2008; muchas empresas del mundo, especialmente aquellas que son responsables de importantes cantidades de emisión, han comenzado a comprar captura de CO₂ financiando proyectos forestales o comprando certificados u otros instrumentos de transacciones de emisiones (Cabrera, 2002).

Las referencias revisadas dejan ver que existen variaciones conceptuales y cuantitativas en muchos aspectos inherentes al sector forestal, pero coinciden en que se debe realizar un mejor aprovechamiento del bosque natural basado en principios de sostenibilidad, sin que se muestre con claridad análisis numéricos que determinen posibles sendas de aprovechamiento óptimo, como las que se desarrollarán en la metodología del presente estudio.

²⁶ Aldana, V. C., 2003. *Las Externalidades Forestales*. Academia Colombiana de Ciencias Económicas. Santa Fe de Bogotá, 43p.

2. METODOLOGIA

2.1 MODELO TEORICO

2.1.1 Proyección del bosque natural en Colombia, dadas las condiciones actuales de aprovechamiento

El primer propósito del estudio es conocer la situación actual de los bosques en Colombia. Según Adam Smith, los precios desempeñan el papel crucial de decirle tanto a los consumidores como a las empresas que los recursos “valen”, y así llevan a esos actores económicos a tomar decisiones eficientes acerca de cómo utilizarlos; además, esta capacidad para utilizar los recursos eficientemente es lo que proporciona la explicación definitiva de la “riqueza de una nación” (Nicholson²⁷, 1997).

Para valorar los recursos naturales, Conrad²⁸ (1999) expone el modelo que será evaluado para comprender aspectos de importancia relacionados con los productos maderables del bosque natural en Colombia, donde la dinámica de población está dada por la ecuación en diferencias:

$$X_{t+1} - X_t = F(X_t) - Y_t \quad (1)$$

Donde:

- X_t Stock del recurso forestal al comienzo del período t
- X_{t+1} Stock del recurso en el período siguiente, dada la extracción del período anterior
- $F(X_t)$ Nivel de crecimiento en cada período, que depende del tamaño del stock
- Y_t Denota la tasa de cosecha del recurso forestal

²⁷ Nicholson, W., 1997. *Teoría Microeconómica: Principios Básicos y Aplicaciones*. Amherst College, España, Págs. 127 - 141.

²⁸ Conrad, J. M., 1999. *Natural Resources Economics*. Cornell University, United States of America, 206 p.

Se puede observar que si la cosecha excede al crecimiento neto [$Y_t > F(X_t)$], el stock del recurso forestal declina ($X_{t+1} - X_t < 0$), y si la cosecha es menor que el crecimiento neto del recurso [$Y_t < F(X_t)$], el stock del recurso se incrementa ($X_{t+1} - X_t > 0$).

Dadas las condiciones de aprovechamiento actuales, se podrá estimar a priori lo que sucederá con los recursos forestales en Colombia, asumiendo que $F(X_t) \rightarrow 0$; es decir, que la tasa intrínseca de crecimiento no es relevante o que es tan lenta que se renueva a tasas muy bajas que no son perceptibles para el hombre. Tomando como referencia una función de beneficio neto $\pi_t = \pi(X_t, Y_t)$, dada por:

$$\pi_t = pY_t - c \frac{Y_t}{X_t} \quad (2)$$

La función de beneficio neto está dada por los ingresos: el precio por unidad del producto cosechado (p), multiplicado por la cantidad extraída del mismo (Y_t); pero esta actividad genera costos de extracción determinados como una proporción entre cada cantidad del producto cosechado y la cantidad de stock (X_t) disponible. A mayor cantidad de stock disponible para la extracción menor la relación y por ello mayor el beneficio neto obtenido en el aprovechamiento del recurso.

Asumiendo que bajo la política de extracción actual los recursos forestales no son óptimamente utilizados, se evalúan los beneficios netos alcanzados y se determina la senda de aprovechamiento, asumiendo que los demás factores son constantes durante este período y se considera el bosque natural como un recurso no renovable, dado que por el momento el interés está centrado en demostrar que las condiciones actuales de aprovechamiento de los recursos en el sector forestal no son adecuadas y pueden incidir en la extinción del recurso en un periodo de tiempo relativamente corto.

La función de beneficios totales estará dada por:

$$\pi = \sum_{t=0}^T \rho^t \pi(X_t, Y_t) \quad (3)$$

Donde $\rho = \frac{1}{1+\delta}$; ρ es la tasa de descuento para un periodo de tiempo que permite traer los beneficios totales desde el año t a valor presente, δ es la tasa de interés del mercado.

En una segunda etapa y tomando lo anterior como referencia, para obtener una mejor aproximación a la realidad, se deja a un lado el supuesto que considera al bosque natural como un recurso no renovable y se evalúa a continuación sobre la base de una tasa de crecimiento biológico perceptible a la condición humana. Para esto, se propone el siguiente modelo de maximización del beneficio, tendiente a determinar el estado estacionario para el recurso forestal colombiano desde tres perspectivas: cuando el beneficio neto solo depende de la extracción, cuando depende tanto de la biomasa como de la cosecha y cuando se trata el principio de equidad intergeneracional.

2.1.2 Aprovechamiento óptimo del bosque natural en Colombia y escenarios alternativos para alcanzar el estado estacionario

La mejor política de aprovechamiento será una estrategia que maximice el valor presente neto de los beneficios, la cual está dada por:

$$\begin{aligned} \text{Maximizar} \quad & \pi = \sum_{t=0}^T \rho^t \pi(X_t, Y_t) \\ \text{Sujeto a} \quad & X_{t+1} - X_t = F(X_t) - Y_t \\ & X_0 \text{ dado} \end{aligned} \quad (4)$$

Fomulando apropiadamente el Lagrangiano, tenemos:

$$L = \sum_{t=0}^T \rho^t \{ \pi(X_t, Y_t) + \rho \lambda_{t+1} [X_t + F(X_t) - Y_t - X_{t+1}] \} \quad (5)$$

Donde λ_t , es llamado “precio sombra del stock del recurso” y su valor indica un aumento relativo de X_t , en el período t . Implícitamente, definiremos el nivel de X_{t+1} que estaría disponible en el período $t+1$. El valor adicional de X_{t+1} en el período $t+1$ es λ_{t+1} .

Tomando las condiciones de primer orden, e igualándolas a cero tendremos:

$$\frac{\partial L}{\partial Y_t} = \rho^t \{ \partial \pi(\bullet) / \partial Y_t - \rho \lambda_{t+1} \} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial L}{\partial X_t} = \rho^t \{ \partial \pi(\bullet) / \partial X_t + \rho \lambda_{t+1} [1 + F'(\bullet)] \} - \rho^t \lambda_t = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial L}{\partial [\rho \lambda_{t+1}]} = \rho^t \{ X_t + F(X_t) - Y_t - X_{t+1} \} = 0 \quad (8)$$

Este sistema tiene dos condiciones límite. La primera es que la condición inicial X_0 es conocida y dada. La segunda condición límite para este problema es una condición sobre λ_{t+1} . Éste será el valor marginal de una unidad adicional de X_{T+1} . Aplicando un poco de Algebra se puede obtener:

$$\frac{\partial \pi(\bullet)}{\partial Y_t} = \rho \lambda_{t+1} \quad (9)$$

$$\lambda_t = \frac{\partial \pi(\bullet)}{\partial X_t} + \rho \lambda_{t+1} [1 + F'(\bullet)] \quad (10)$$

$$X_{t+1} = X_t + F(X_t) - Y_t \quad (11)$$

El lado izquierdo de la ecuación (9) es el beneficio marginal neto de una unidad adicional del recurso cosechado en el período t y es igual al costo de oportunidad o “costo de usuario” dada una estrategia de cosecha óptima. El costo de usuario es el valor descontado de una unidad adicional del recurso en el período $t+1$.

El lado izquierdo de la ecuación (10), λ_t es el valor adicional de una unidad del recurso en el sitio en el período t , el cual se iguala al beneficio neto marginal en el

periodo actual, más el beneficio marginal de no cosechar una unidad y dejarla para el próximo periodo.

La ecuación (11) es la derivada parcial del Lagrangiano respecto a $\rho\lambda_{t+1}$; de esta manera se encuentra la ecuación diferencial asociada con la variable de estado, en este caso el stock del recurso.

Para tener una mejor aproximación al objeto del estudio, es importante analizar el bosque natural hacia un periodo infinito en el tiempo. De esta manera, habrá una mejor aproximación al aprovechamiento sostenible de los recursos forestales. Este escenario implica resolver un problema de horizonte infinito, el cual se caracteriza por ser un sistema de infinitas ecuaciones con un número infinito de incógnitas.

Bajo ciertas condiciones en cada problema habrá un periodo de transición, así $\tau \geq t \geq 0$, donde X_t, Y_t, λ_t , están cambiando, seguido por un periodo $\infty > t > \tau$, donde X_t, Y_t, λ_t , se mantendrán constantes. Esta última situación es conocida como “estado estacionario” y se tendrán las siguientes condiciones:

$$X_{t+1} = X_t = X^*, Y_{t+1} = Y_t = Y^*, \lambda_{t+1} = \lambda_t = \lambda^* \quad (12)$$

donde $[X^*, Y^*, \lambda^*]$ son llamados optimo estado estacionario

En estado estacionario, se puede obviar los subíndices de las ecuaciones (6) - (8) y así obtener:

$$\rho\lambda = \frac{\partial\pi(\bullet)}{\partial Y} \quad (13)$$

$$\rho\lambda[1 + F'(X) - (1 + \delta)] = -\frac{\partial\pi(\bullet)}{\partial X} \quad (14)$$

$$Y = F(X) \quad (15)$$

A partir de estas ecuaciones, se puede obtener la “Ecuación fundamental de los recursos naturales”:

$$F'(X) + \frac{\partial \pi(\bullet) / \partial X}{\partial \pi(\bullet) / \partial Y} = \delta \quad (16)$$

Esta ecuación tiene una importante interpretación económica. $F'(X)$ representa la tasa marginal de crecimiento neto. El segundo término es llamado el “efecto marginal del stock”, que mide el valor marginal del stock relativo al valor marginal de cosecha. La suma de estos dos términos puede ser interpretada como la tasa interna de retorno del recurso y esta tasa debe ser igual a la tasa de descuento que generalmente es la tasa de interés de la economía.

Por medio de simulación es posible obtener una aproximación al estado estacionario para el bosque natural en Colombia, la cual será considerada como la mejor política de desarrollo sostenible. El estado estacionario es la relación óptima entre el la tasa intrínseca de crecimiento del recurso y la extracción del mismo en un período dado; de tal forma que el stock disponible en un periodo siguiente se conserve en la misma proporción. Este objetivo se fundamenta en el modelo tomado de Conrad²⁹ (1999), que considera la economía del bosque natural basada en el aprovechamiento de sus productos maderables; entonces el desarrollo sostenible podría implicar la adopción de una tasa de cosecha igual al crecimiento neto, $Y = F(X)$. Tomando como referencia para este propósito una función logística $Y = F(X) = rX(1 - X/K)$, donde r , se refiere a la tasa intrínseca de crecimiento del recurso y K es la capacidad de carga.

Habrán un número infinito de pares (X, Y) ; sin embargo, los objetivos que se plantean sobre el recurso determinan el mejor estado estacionario. Suponiendo que el beneficio neto solo depende de la extracción $\{\pi = \pi(y)\}$, donde

²⁹ Conrad, J. M., 1999. *Natural Resources Economics*. Cornell University, United States of America, 206 p.

$\pi'(\bullet) > 0$ y $\pi''(\bullet) < 0$, de esta manera $F'(X) = \delta$. De acuerdo a la función logística, entonces $F'(X) = r(1 - 2X/K) = \delta$ implica que $X' = K(r - \delta)/2r$ y para $\delta > 0$, teniendo en cuenta la importancia asignada al beneficio neto de futuras generaciones, entonces $X' < MSY = K/2$, donde MSY se refiere al máximo desarrollo sostenible que está representado en el punto de inflexión de la senda de aprovechamiento del estado estacionario.

Cuando se considera que el beneficio neto depende tanto de la biomasa como de la cosecha, tal que $\pi = \pi(X, Y)$, se obtiene la ecuación (16) del modelo teórico.

Esto sugiere que el efecto del stock marginal $\frac{\partial \pi(\bullet)/\partial X}{\partial \pi(\bullet)/\partial Y} > 0$. Si el efecto del stock marginal es mayor que la tasa de descuento, la biomasa óptima en el estado estacionario podría exceder el nivel de stock de rendimiento máximo sostenible ($X'' > X_{MSY}$). Este análisis, sobre la base de la equidad intergeneracional en que la tasa de descuento tiende a cero y este desde un punto de vista económico se traduce en que no se castigan los valores futuros, entonces $F'(X) = -\frac{\partial \pi(\bullet)/\partial X}{\partial \pi(\bullet)/\partial Y}$, implicando que la biomasa óptima $X''' > X''$.

Para la función de beneficio $\pi = \ln(XY)$ y cuando $Y = F(X) = rX(1 - X/K)$, la ecuación (16) se puede escribir como $r(1 - 2X/K) + Y/X = \delta$, sustituyendo Y y resolviendo para X , se obtiene la solución explícita $K(2r - \delta)/3r = X''$ y cuando $\delta \rightarrow 0$, entonces $X''' = 2K/3$.

Estas formas funcionales tomadas como referencia para el desarrollo del modelo son supuestos simplificadores del mismo que permiten hallar el estado ideal de conservación y determinan la cantidad de stock de bosque natural que se podría aprovechar en el tiempo sin llegar a degradarlo.

2.1.3 Determinación del turno óptimo para el bosque natural

Otro objetivo propuesto hace referencia a la determinación del turno óptimo para el bosque natural que será útil en la formulación de políticas de aprovechamiento forestal y también para la formulación de propuestas en las negociaciones por reducción del calentamiento global. Para esto se recurre a la estimación econométrica de una forma funcional cúbica para la función de crecimiento de la biomasa en el tiempo, que permite capturar efectos de primer y segundo orden (Romero³⁰, 1997 y Conrad³¹, 1999):

$$Q_t = \alpha t + \beta t^2 - \gamma t^3 \quad (17)$$

Donde:

Q_t : índice de clase de sitio (ft/acre)

t : edad (años)

Según Romero (1997) desde un punto de vista biológico la expresión que relaciona el crecimiento de la masa forestal es un curva de crecimiento y desde un punto de vista económico, dicha expresión es una función de producción temporal y la evidencia empírica corrobora que este tipo de funciones tiene una forma parecida a la función clásica de la economía, la cual asume las siguientes propiedades: productividades marginales positivas y función cóncava hacia el origen, lo que implica productividades marginales decrecientes.

2.1.4 Captura de dióxido de Carbono por los bosques naturales

La captura de dióxido de carbono está determinada, según lo expuesto por Cabrera³² (2002), por la magnitud de biomasa que está en directa relación con el

³⁰ Romero, C., 1997. *Economía de los recursos ambientales y naturales*. Universidad Politécnica de Madrid. Ed. Alianza, Págs. 121– 157.

³¹ Conrad J. M., 1999. *Natural Resources Economics*. Cornell University, United States of America, 206 p.

³² Cabrera, Pe R. J., 2002. *El Mercado del CO₂, Características y Elementos Críticos*. Instituto Forestal, Santiago de Chile, 25 p.

CO₂ y se considera como biomasa de los árboles la materia viva total de ellos. Una forma práctica de estimar la captura anual es utilizar la fórmula:

$$\text{Captura (CO}_2\text{ / ha / año)} = \text{IMA} * \text{fd} * \text{fe} * \text{fc} * \text{fCO}_2 \quad (18)$$

Donde:

IMA: Crecimiento volumétrico comercial anual (m^3 /ha/año)

fd: Densidad de la madera comercial seca (t / m^3)

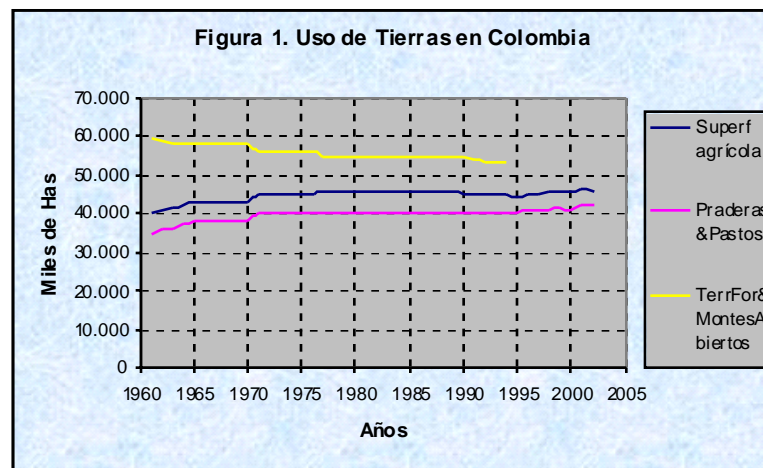
fe: Factor de expansión de la madera comercial a biomasa total (*biomasa / t*)

fc: Factor de participación de C en el total de la biomasa (*C / biomasa*)

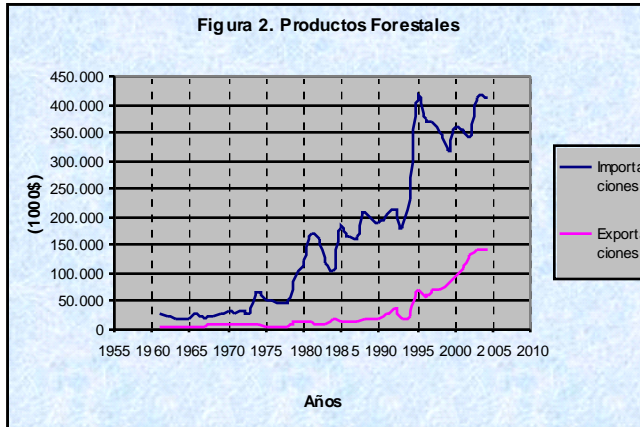
fCO₂: Factor de conversión de C en CO₂ (CO_2 / C)

2.2 INFORMACIÓN ESTADÍSTICA

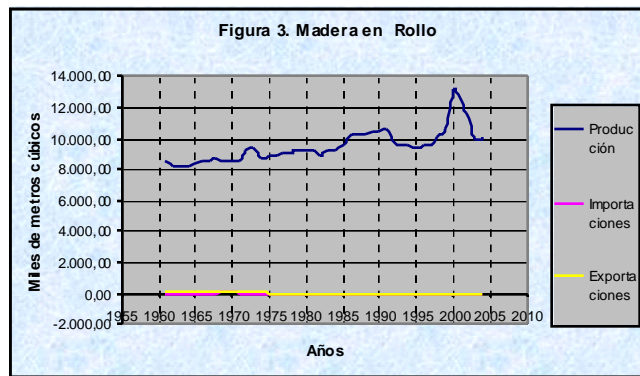
Las figuras 1 a 6 muestran el comportamiento histórico del uso de tierras en Colombia y los productos forestales a partir de 1961, desde cuando FAO³³ tiene reportes oficiales para Colombia. En el Anexo A, se puede verificar la base de datos de FAO, que indica las tendencias que se grafican a continuación.



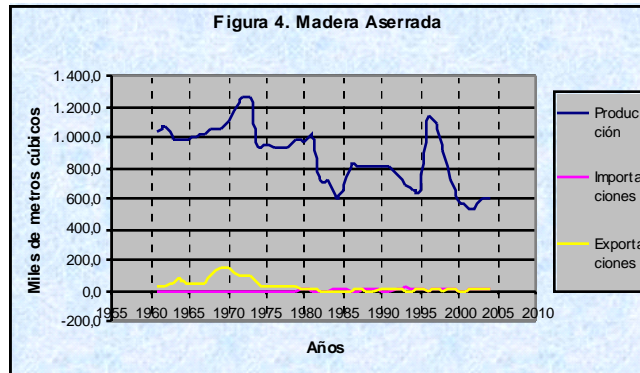
³³ Bases de Datos de FAO, 1961 – 2004. *Producción Forestal Proveniente de Bosques Naturales y de Plantaciones Comerciales de Especies Exóticas*. Datos cortetransversal.



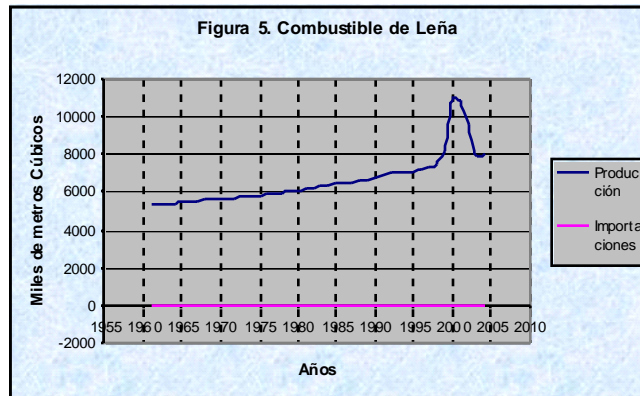
Fuente: FAO



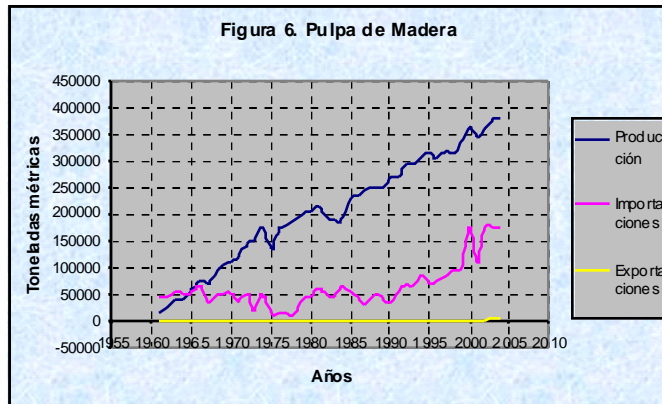
Fuente: FAO



Fuente: FAO



Fuente: FAO



Fuente: FAO

Se puede observar en la figura 1 que la economía del país se ha desarrollado mucho más en cuanto a producción agrícola y pecuaria, cambiando el uso de tierras de 10 millones de has en los últimos 40 años. Estas áreas boscosas en su mayoría han sido degradadas debido a las técnicas utilizadas en su aprovechamiento y, es preocupante la riqueza genética que ha podido extinguirse en el proceso.

A pesar de la gran cantidad de bosque natural talado y la riqueza que aún se tiene en Colombia de este recurso vemos en la figura 2 que las importaciones de productos maderables se han ido incrementando a través del tiempo, mientras se deteriora nuestro recurso. Las figuras 3 a 6 dejan ver claramente que la industria de la madera ha tenido una demanda creciente a través de los años, la industria de la madera aserrada muestra una tendencia a la baja en la última década; siendo éste un indicador de que las normas legales de protección al bosque han surtido ciertos efectos en relación al tema. La industria de la pulpa de papel ha mostrado avances significativos en tecnología y producción; sin embargo no ha podido ser competitiva a nivel internacional.

El mapa del anexo B, da una visión general acerca de la concentración de áreas boscosas en Colombia y, la tabla 1 corresponde a la información estadística encontrada en documentos provenientes de entidades oficiales relacionadas con el sector forestal en Colombia.

Tabla 1. Datos estadísticos para el bosque natural en Colombia

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD	FUENTE
Área total en bosque natural	49'601.000	Ha	FAO (2004)
Extracción	238.812,5	ha/año	FAO (2004)
Precio promedio de la madera en pie	32,58	US\$/m ³	Amaral 1998
Costo de extracción de la madera	9,77	US\$/m ³	Amaral 1998
Repoblación	36.858	ha/año	Acosta2004

La tabla 2 contiene información del volumen mercadeable en relación con la edad del abeto “*Douglas fir*”; ésta es una especie que crece en bosques naturales de la zona templada y será usada como referencia para el análisis. Esto limita los resultados dadas las diferencias existentes con los bosques naturales tropicales; sin embargo, se aprovechará esta información bajo la premisa de ser una especie dominante en su hábitat y de madera fina, tal como sucede con las especies maderables tropicales. Se debe aclarar que no se ha encontrado este tipo de información para otras especies forestales que sea suficiente para desarrollar estimaciones econométricas, lo que deja ver deficiencias en el manejo y planeación en el aprovechamiento actual de los bosques naturales tropicales.

Tabla 2. Volumen mercadeable por acre, para “*Douglas fir*”

Edad	Índice de Clase de Sitio (140) ³⁴ (Qt) Ft tablares
30	300
40	4500
50	12400
60	23800
70	35200
80	45700
90	55000
100	62800
110	69400
120	75000
130	80000
140	84500
150	88600
160	92400

Fuente: Resource Economics, Jon M. Conrad (1999)

³⁴ Se toma la clase de sitio 140, porque es un índice promedio en la clasificación de suelos que va desde 80 para un tipo de suelo considerado infértil y de difícil acceso, hasta un índice de 210, el cual se considera con las condiciones más apropiadas de fertilidad y relieve para la actividad forestal.

Con esta información, se procede a estimar las aplicaciones de los modelos teóricos propuestos.

2.3 SOLUCIÓN AL MODELO TEÓRICO PROPUESTO

2.3.1 Proyección del bosque natural en Colombia, dadas las condiciones actuales de aprovechamiento

Con la información anterior y bajo el supuesto inicial, donde se considera el bosque natural como un recurso no renovable y asumiendo que la tasa intrínseca de crecimiento del recurso $F(X_t) \rightarrow 0$, se realizó una simulación respecto a la tasa actual de extracción del mismo X_t , dado el stock inicial X_0 . Con esto se pretende conocer la senda de aprovechamiento que podría tener el recurso en el tiempo y poder cuantificar de esta manera los beneficios netos que podrían alcanzarse bajo esta tendencia, asumiendo que el bosque natural no se regenera en el tiempo.

Tomando como referencia el área que ocupa el bosque natural en Colombia reportada por FAO³⁵ (2004) que corresponde a 49'601,000 ha y considerando un precio promedio de 882.71 US\$/ha de madera en pie y un costo de esfuerzo para su obtención de 284.61 US\$/ha (calculados a valor presente de 2005), de acuerdo con el reporte hecho por Amaral et al³⁶ (1998), se calculó la tabla 3, de la que se presenta en el anexo C el cálculo correspondiente. La tasa de extracción anual asume un incremento esperado del 3% en la demanda para los próximos años, de acuerdo con los reportes de FAO (2004). Las ecuaciones utilizadas para calcular la tabla 3 de la que se presenta un resumen a continuación corresponden a:

$$Y_t = Y_t(1 + \gamma), \quad X_{t+1} = X_t - Y_t, \quad PVNB_t = \rho^t(p_t(1 + \delta)Y_t - c(1 + \delta)Y_t)^{37}.$$

³⁵ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2004. *Plana Plazo Medio*. Roma

³⁶ Amaral, P. H. C., Verrisimo, J. A. de O., Barreto, P. G., Vidal, E. J. Da S., 1998. *Bosque Para Siempre: un Manual para la Producción de Madera en la Amazonía*. World Wildlife Fund (WWF), Belem: IMAZON, 162p.

³⁷ PVNB = Valor presente neto de los beneficios

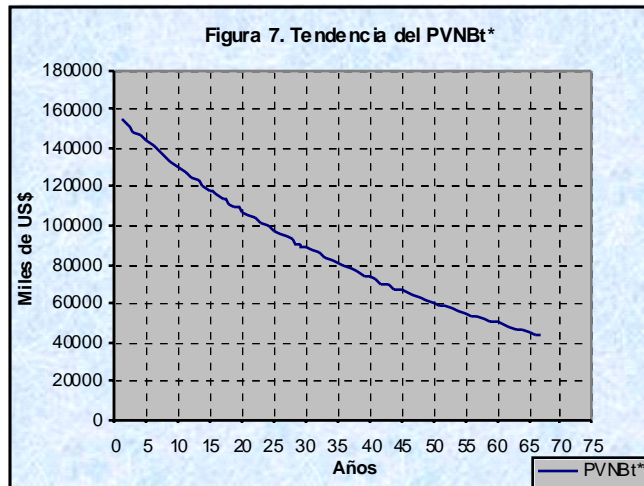
En el momento se quiere demostrar que el bosque natural es un recurso escaso y de continuar las tendencias actuales de aprovechamiento, en poco tiempo podría ser agotado. Se utiliza una tasa de descuento $\delta = 0,05$, considerada como la tasa de interés promedio en el mercado.

Tabla 3. Tendencia en el aprovechamiento del bosque natural en Colombia

$\delta =$	0,05		
$\rho =$	0,952		
$\lambda =$	0		
precio (\$/ha)	882,71		
costo (\$/ha)	264,81		
$\gamma =$	0,03	Incremento anual esperado en la extracción	
T(años)	Yt*	Xt*	PVNBt**
0	238.813	49.601.000	154.939
1	245.977	49.362.188	151.988
2	253.356	49.116.211	149.093
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
65	1.631.085	3.191.908	44.389
66	1.680.018	1.560.823	43.544
67	1.730.418	-119.195	0
* ha			
** miles de US\$		PVNBt=	5.891.799

Fuente: Cálculos del Autor

La tabla 3 indica que el aprovechamiento del bosque natural en Colombia de acuerdo con la tendencia actual podría representar unos beneficios netos totales de US\$ 5.891'799.000 y, en solo 67 años se degradaría en su totalidad esta gran riqueza con consecuencias ambientales catastróficas que de ninguna manera serían compensadas por los beneficios alcanzados bajo este tipo de aprovechamiento; si se toma como referencia la economía de recursos forestales de Chile cuyas transacciones superan los tres mil millones de dólares anualmente, se puede inferir que el beneficio neto total resultante de este tipo de aprovechamiento nos conduciría a la simple degradación de nuestra riqueza forestal. Las figuras 7 y 8 obtenidas a partir de la simulación realizada en la tabla 3, representan los cálculos obtenidos bajo estos supuestos:



Fuente: Cálculos del Autor

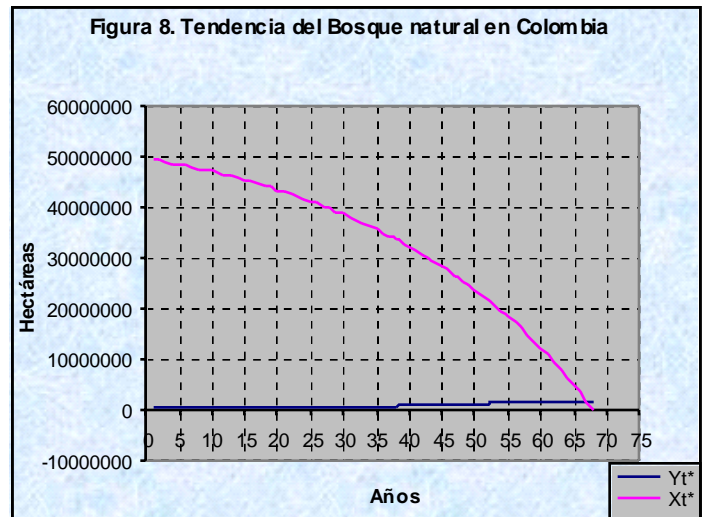
La figura 7 muestra una tendencia acumulativa de los beneficios obtenidos por la explotación del bosque natural, la cual tiende a decrecer en el tiempo dado el agotamiento del bosque natural. Esto indica que se podrían obtener beneficios económicos por el aprovechamiento indiscriminado del bosque natural que no compensan las condiciones catastróficas relacionadas con su extinción; además sirve como punto de presión sobre las negociaciones de cambio climático, las que deberían incluir a los bosques naturales como áreas prioritarias para la adjudicación de beneficios económicos relacionados con el secuestro de dióxido de carbono.

Es importante hacer claridad acerca de que el supuesto en que se basa la determinación de este objetivo es muy fuerte; su resultado puede estar sesgado al no asumir una función de crecimiento del recurso y no tener en cuenta la reforestación como factor determinante en el manejo del bosque. Sin embargo es de suma importancia aproximarnos a la fragilidad de este recurso con base en las prácticas actuales de aprovechamiento.

Según FAO³⁸ (2004) para un incremento del 3% anual en el aprovechamiento del bosque natural con relación a la explotación actual de 238.812 has y bajo el supuesto de que el bosque se renueva a tasas tan bajas que no es perceptible a

³⁸ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2004. *Plana Plazo Medio*. Roma

la condición humana, la figura 8 representa la senda en que podría ser extinguido el bosque natural, correspondiente a un período de 67 años que determina la importancia del análisis económico tendiente a la optimización en su aprovechamiento y manejo.



Fuente: Cálculos del Autor

2.3.2 Aprovechamiento óptimo del bosque natural en Colombia y escenarios alternativos para alcanzar el estado estacionario.

Los aspectos mencionados en el ítem anterior sirven como referencia, pero por su estructura y composición se considera que el bosque realmente es un recurso natural renovable, lo que llevó a desarrollar una aproximación de su dinámica para determinar el comportamiento a través del tiempo e inferir con más claridad acerca del desarrollo sostenible.

De acuerdo con las condiciones anteriores, para encontrar una solución al modelo propuesto es necesario determinar la tasa intrínseca de crecimiento (r) para el bosque natural. Para esto, se toma como referencia la productividad primaria neta (NPP) para bosque tropical y subtropical determinada por Sonhgen et al (1997), y la capacidad de carga (K). Esta capacidad de carga será evaluada como el área ocupada actualmente por bosque natural en Colombia y se tomará como

referencia el reporte de FAO (2004). Los parámetros $r = 0,302 \text{ ton/ha/año}$ ³⁹, y $K = 49'601.000 \text{ ha}$, permiten resolver el modelo. Se calculó la tabla 4, de la que se presenta en el anexo D el cálculo correspondiente y a continuación se presenta un resumen:

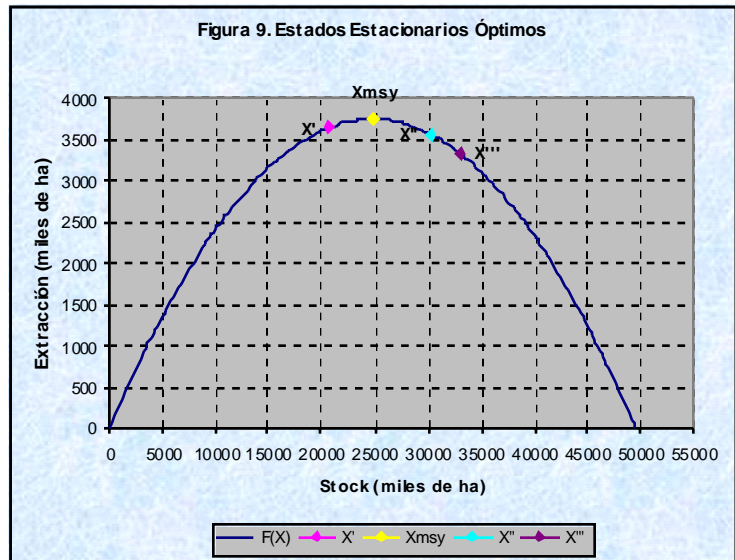
Tabla 4. Desarrollo sostenible para el bosque natural en Colombia

r	0,302	ton/ha/año	
K	49601.000	millones de ha	
delta	0,05		
X'	20694.457	Y'	3'642.224
X_{msy}	24800.500	Y_{msy}	3'744.876
X''	30329.971	Y''	3'558.717
X'''	33067.333	Y'''	3'328.778
	X(miles de ha)	Y=rX(1-X/K)	
	0	0	
	250	75,119	
	500	149,478	
	.	.	
	.	.	
	.	.	
	49250	105,252	
	49500	30,440	
	49601	0	

Fuente: Cálculos del Autor

En la tabla 4 se han calculado las áreas relacionadas con los tres supuestos teóricos planteados: cuando el beneficio neto solo depende de la extracción (X'), cuando depende tanto de la biomasa como de la cosecha (X'') y cuando se trata el principio de equidad intergeneracional (X''') y muestra la senda que tendría el bosque natural de acuerdo a la cantidad de área aprovechada. La figura 9, muestra la senda de aprovechamiento y los diferentes estados estacionarios propuestos y calculados en la tabla 3.

³⁹ r , para la tasa intrínseca de crecimiento de la biomasa total es de 17,85 ton/ha/año. Para el desarrollo del modelo se toma la proporción factible para cosecha de productos maderables. Ver "An Analysis of Global Timber Markets", Sonthen et al, 1997, Discussion paper. Resources for the Future.



Fuente: Cálculos del Autor

La figura 9 determina tres puntos óptimos de aprovechamiento del bosque natural regulados por diferentes puntos de vista y objetivos propuestos. En esta figura se tiene como fundamento el hecho de que el bosque puede regenerarse, manteniendo un nivel de stock permanente. Las cantidades de stock están relacionadas en la tabla 4.

2.3.3 Determinación de turno óptimo para el bosque natural

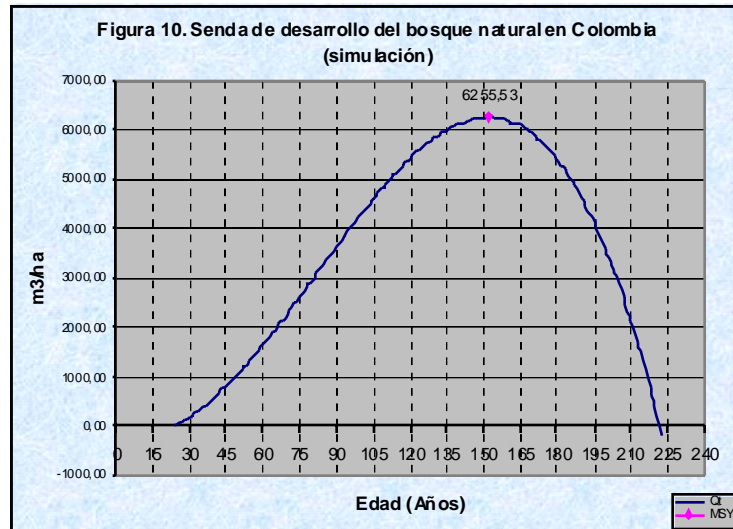
Con base en los datos registrados en la tabla 2, se estimó econométricamente la forma funcional de la ecuación (17) y corresponde a la siguiente ecuación, el *t* – estadístico está dado en el paréntesis y en la tabla E.1 del anexo E presento la salida de dicha estimación:

$$Q_t = -336,6588 t + 15,99556 t^2 - 0,0652046 t^3 \quad (19)$$

(-3,94) (10,04) (-9,20) $R^2_{ajustado} = 0,99$

La figura 10 se obtiene a partir de simulación de la ecuación (19) en un período de tiempo indefinido y representa una generalización de lo que tarda el bosque natural en alcanzar su madurez y la tendencia en su desarrollo, el signo negativo en el volumen mercadeable durante los primeros 23 años no exige una

interpretación exhaustiva. Se puede considerar, como ejemplo, el período de tiempo que tarda el bosque en recuperarse después de una corta selectiva o cuando fue aprovechado por el método de tala rasa.



Fuente: Cálculos del Autor

Uno de los mayores inconvenientes para la producción de bienes maderables es el tiempo que tarda una especie en alcanzar su madurez en estado de bosque natural; el resultado de la estimación reporta un turno forestal óptimo de 152 años, como puede verse en la figura 10. Esta situación es poco motivante para los inversionistas del sector forestal y más aún cuando no se tienen claramente definidos los derechos de propiedad para realizar el aprovechamiento de un área determinada.

2.3.4 Captura de dióxido de Carbono por los bosques naturales

Al determinar la relación económica - ambiental existente entre el bosque natural y la reducción del calentamiento global, se debe partir de la base general de que Colombia no presenta planes de manejo forestal de sus bosques, implicando que el aprovechamiento y a su vez las negociaciones por secuestro de CO₂ estén distantes de la realidad; sin embargo, se puede destacar la posibilidad existente respecto al tema y determinar un punto de referencia válido por medio del cual se determine el valor agregado de esta externalidad positiva, de la que se puede disponer a mediano plazo de acuerdo con políticas de manejo sostenible.

Cabrera⁴⁰ (2002) ha considerado la forma funcional dada en la ecuación (18). La cantidad de CO₂ que secuestra el bosque natural en Colombia se determina recurriendo a la función cúbica estimada en la ecuación (19) y tomando como referencia el incremento volumétrico anual del bosque para calcular la senda de captura de CO₂ a través del tiempo. Lo anterior se resume en la tabla 5 y se presenta el cálculo correspondiente en el anexo F. Los demás elementos necesarios que permiten resolver esta forma funcional son tomados del reporte de Cabrera (2002), quien determina que la densidad de la madera comercial seca es de 0.43 t/m³, el factor de expansión de la madera comercial a biomasa total esta determinado en 1.5 biom/t, el factor de participación de carbono en el total de la biomasa está determinado en 0.5 C/biom y el factor de conversión de carbono en CO₂ ha sido estandarizado en 3.667 CO₂/C; para lo cual se obtiene lo siguiente:

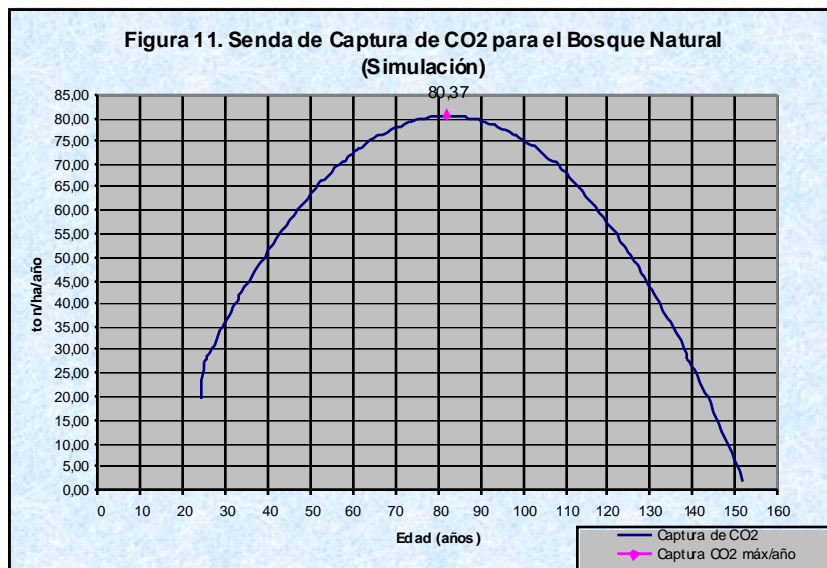
Tabla 5. Determinación del Incremento Volumétrico Comercial Anual para el Bosque Natural y su Relación con la Captura de Dióxido de Carbono.

Coeficientes estimados Ecuación (19)		Especificación elementos ecuación (18)		
alfa =	-336,6588	Precio promedio esperado por captura de CO ₂ =	4	US\$/ton CO2
beta =	15,99556	fd =	0,43	(t/m ³)
gamma =	-0,0652046	fe =	1,5	(biomasa/t)
		fC =	0,5	(C/biomasa)
		fCO ₂ =	3,667	(CO2/C)
		1 Ft tablar =	0,0283168	m ³
		1 acre =	0,4047	ha
t (años)	Qt (Ft tablares/acre)	Qt (m3/ha)	Captura de CO2	Valor Captura de CO2
24	232,24	16,25	19,22	76,87
25	561,93	39,32	27,28	109,12
26	913,83	63,94	29,12	116,47
.
.
.
150	89335,76	6250,81	6,12	24,49
151	89383,04	6254,12	3,91	15,65
152	89403,24	6255,53	1,67	6,69

Fuente: Cálculos del Autor

⁴⁰ Cabrera, Pe R. J., 2002. *El Mercado del CO₂, Características y Elementos Críticos*. Instituto Forestal, Santiago de Chile, 25 p.

El bosque natural tiene la propiedad intrínseca de capturar diferentes cantidades de CO₂ a través de su desarrollo; el cálculo realizado permite reportar un máximo de 80,37 t/ha a los 82 años como se puede ver en la figura 11. Esto genera una gran expectativa para incorporar el área boscosa de Colombia en negociaciones con los países industrializados por reducción del calentamiento global, lo que generaría un mayor valor a los productos maderables y como consecuencia de esto las oportunidades de desarrollo para el sector forestal se verían favorecidas.



RESULTADOS

Quando se trata el bosque como un recurso natural no renovable, los beneficios netos alcanzados por el aprovechamiento de productos maderables, corresponden a US\$ 5.891'799.000 y éste podría ser agotado de acuerdo a la tendencia actual de aprovechamiento en los próximos 67 años; es decir, que obtendríamos las transacciones realizadas en dos años de un país forestal por excelencia como es el caso de Chile y degradaríamos todos nuestros productos forestales con consecuencias ambientales que podrían ser devastadoras para la humanidad. Se debe reconocer la limitación en el resultado determinada por los supuestos en que se basa el cálculo correspondiente; ya que se obvia el crecimiento neto del recurso y no se tiene en cuenta que los programas de reforestación son un eje fundamental en la preservación del mismo.

Quando se incluyó la característica relacionada con la función intrínseca de crecimiento del recurso, dada por la función logística del modelo teórico, se considero el bosque como un recurso renovable; sin embargo no se incluyó para este cálculo las tasas de forestación y reforestación con especies nativas de bosques tropicales debido a la falta de precisión en la información estadística relacionada con el tema. Bajo los supuestos planteados se obtuvo las siguientes estimaciones para el estado estacionario respecto a los objetivos propuestos:

Quando el beneficio neto solo depende de la extracción, el stock de bosque natural a conservar es de 20'694.457 has, aquí se mira el bosque como un recurso abundante y que será aprovechado bajo una política de propiedad común donde el esfuerzo por aprovechar el recurso es muy bajo y de ésta manera los costos de extracción tienden a cero.

Quando el beneficio neto depende tanto de la biomasa como de la cosecha, el stock a conservar será de 30'329.971 has, bajo este supuesto se considera un aprovechamiento del bosque bajo la política de competencia perfecta y el

mercado hipotético en este caso consta de muchos vendedores y compradores que dependen de la tasa de interés del mercado para determinar si es mejor conservar ciertos niveles de stock del recurso para un período siguiente de extracción dada una tasa de descuento inferior a lo que representaría la tasa interna de retorno correspondiente al lado izquierdo de la ecuación (16), pag. 25.

Bajo el principio de equidad intergeneracional el stock a conservar es de 33'067.333 has, este caso pone de manifiesto un recurso aprovechado con mayor tendencia a la conservación sin que impida un adecuado manejo. El análisis económico bajo este supuesto implica que no se castiguen los valores futuros; es decir, que la tasa de descuento tiende a cero y lo más importante será permitir que las generaciones futuras tengan disponibilidad del recurso y puedan implementar nuevas tecnologías para perpetuarlo indefinidamente aprovechándolo a tasas coherentes con la función de crecimiento y la capacidad de carga del sistema.

Maximizando la ecuación (19) se obtiene un turno óptimo para el bosque natural de 152 años, que es el período de tiempo en que se alcanza el rendimiento máximo sostenible (X_{MSY}). Este indicador representa una tasa muy baja de crecimiento y, el resultado puede estar sesgado por la información estadística utilizada que corresponde a la especie "*Douglas fir*" que es una especie de bosque natural de zona templada y que representa tasas inferiores de crecimiento a las especies forestales tropicales; sin embargo, se rescata la metodología y su aplicación, dejando de manifiesto la importancia de la información estadística de nuestras especies forestales como base para el análisis económico y la investigación de los recursos naturales. No fue posible obtener ésta información para el bosque natural tropical en la proporción requerida para una estimación econométrica; pero la tendencia obtenida será un buen punto de referencia para proponer medidas de política que conduzcan a un buen manejo de los bosques naturales en Colombia.

El bosque natural tiene la propiedad intrínseca de capturar dióxido de carbono y, se puede observar la tendencia al respecto que podría tener un bosque natural en

la figura 11, pag. 40, la cual muestra un comportamiento creciente hasta los 82 años donde alcanza un máximo de 80,37 *ton/ha*; época en que empieza a decrecer dado que los rendimientos del bosque a su vez disminuyen de acuerdo con la propiedad de productividad marginal decreciente. Considerando un precio teórico futuro promedio de 4 *U\$/ton* de CO₂ capturado, se obtiene un total de 321,48 *U\$/ha* durante ese año y beneficios económicos que varían de acuerdo con la edad de los árboles y que pueden ser verificados de acuerdo al cálculo presentado en la tabla F.1 del anexo F. De acuerdo con Cabrera⁴¹ (2002), el 30% de estos recursos se destina al cuidado y manejo del bosque, quedando un excedente de 225,04 *U\$/ha*, para quien tenga los derechos de propiedad sobre un área determinada.

Este análisis desde el punto de vista de la economía determina que estamos frente a un recurso potencial que es abundante y que manejado adecuadamente podría llevar al país a ser competitivo en la producción de productos forestales maderables junto con los beneficios que se pueden obtener mediante planes de manejo sostenible del bosque natural y la negociación de servicios ambientales, tales como la captura de dióxido de carbono que es una fortaleza intrínseca y que induce mejores niveles en la calidad de vida de la humanidad.

La demanda por productos forestales maderables presenta una tendencia de incremento anual a una tasa del 3%, lo que obliga a determinar la mejor forma para enfrentarla sin permitir la degradación del bosque. La oferta por su parte solo se podrá asegurar mediante planes y programas silviculturales que tomen como elemento principal la tasa intrínseca de crecimiento o productividad primaria neta y se establezcan objetivos claros, acordes con los planteamientos realizados por parte de las instituciones que determinan políticas de aprovechamiento de recursos forestales; además se prevé mayor expansión de la frontera agrícola y pecuaria bajo cualquiera de las políticas propuestas teóricamente dado el aprovechamiento de algunas zonas que cambiaran de vocación y su aptitud de uso; sin embargo no se considera una fuerte influencia de estas áreas en la

⁴¹ Cabrera, Pe R. J., 2002. *El Mercado del CO₂, Características y Elementos Críticos*. Instituto Forestal, Santiago de Chile, 25 p.

economía agrícola porque las áreas forestales tropicales en Colombia predominan en zonas de ladera y suelos de baja fertilidad.

El planteamiento de planes y programas funcionales para el bosque natural conllevará una mayor producción maderera que contará con stock suficiente para satisfacer la demanda y permitirá contar con un stock remanente que asegure la captura de dióxido de carbono por un periodo de 152 años, de acuerdo al turno óptimo promedio estimado para especies maderables y en una cantidad no inferior a 20'694,457 has si se aprovechara el bosque asumiendo que los beneficios netos solo dependen de la cantidad cosechada y hasta 33'067,333 has en caso de que la política de aprovechamiento seleccionada tenga como prioridad los principios de equidad intergeneracional.

CONCLUSIONES

El bosque natural es un recurso valioso desde un punto de vista puramente económico y puede ser agotado en un período de tiempo relativamente corto, 67 años si es considerado como un recurso no renovable. Este indicador muestra la importancia del análisis de su aprovechamiento basado en modelos bioeconómicos, tales como los desarrollados por el presente estudio y con base en ellos formular políticas de desarrollo sostenible de mediano y largo plazo. Se podría mencionar que al disminuir la cobertura boscosa se incrementa el área agrícola con tendencia a satisfacer la demanda de productos como: arroz y cereales; pero las posibilidades que los suelos forestales ofrecen en este campo son muy limitadas debido a la salinidad, acidez y fuertes pendientes que estos presentan.

Los tres tipos de política desarrollados para alcanzar el estado estacionario del bosque natural en Colombia, ofrecen posibilidades para los sectores interesados en su aprovechamiento. Se han obtenido puntos de referencia valiosos que permiten seguir una tendencia dado un previo acuerdo de todos los actores que tienen influencia sobre el tema y respaldados por la Ley General Forestal que propende por el desarrollo sostenible basado en el aprovechamiento óptimo de los recursos forestales. Es preciso aclarar que los análisis desarrollados en el presente estudio no incluyen valores de no uso, ni determina los beneficios alcanzados por la explotación de subproductos del bosque, lo que podría incrementar los valores obtenidos para el área óptima determinada bajo los diferentes supuestos desarrollados.

Existen corrientes radicales en Colombia, tanto sociales, políticas, económicas, como culturales, que impiden llevar a cabo un verdadero proceso de desarrollo sobre el bosque natural. Este análisis muestra que existen posibilidades de aprovechamiento tendientes a superar las diferencias existentes entre los sectores interesados en el desarrollo del sector forestal y quienes prefieren ver

caprichosamente cómo el bosque permanece intacto, cumpliendo extensos ciclos de vida, haciendo más distante cada día la posibilidad de ser competitivos en un mundo cambiante y que necesita mayores cantidades de productos maderables y servicios ambientales cada día.

El turno óptimo para el aprovechamiento del bosque natural indica que la biomasa forestal permanecerá sobre la cubierta terrestre por lo menos 152 años antes de ser aprovechada; se debe reconocer la deficiencia actual en la información existente para el bosque natural en Colombia y, obtener este resultado a partir de una base de datos para una especie que varía de zona de vida, condiciones climáticas y edáficas de la zona tropical puede haber influido negativamente en el resultado final; sin embargo, haciendo esta aclaración se puede deducir que ésta biomasa contribuirá en la reducción del calentamiento global durante el período de tiempo en que alcance su rendimiento máximo sostenible o turno forestal óptimo y de acuerdo a la política de extracción que se determine se podrá contar con un stock forestal permanente, dado el fortalecimiento de las instituciones reguladoras de su aprovechamiento para asegurar que la política planteada no sufra modificaciones por incumplimiento en sus normas.

Con todas las dificultades existentes para la determinación del turno forestal óptimo y a pesar de que el protocolo de Kyoto aún no contempla beneficios económicos a los bosques naturales por cambio climático, se puede justificar el planteamiento de negociaciones con los países industrializados sobre tasas por captura de CO₂ correspondientes en bosques naturales, dado un plan de manejo forestal que incluya los aspectos aquí mencionados y otros de interés.

La información estadística en el sector forestal es limitada, lo cual puede incidir negativamente en los resultados obtenidos en diversos estudios acerca del tema y, mientras se mantenga esta tendencia en el tiempo, los esfuerzos que se hagan para obtener fuentes de financiación para el desarrollo del sector forestal van a verse obstruidos por la incertidumbre que generan los proyectos de largo plazo con poca claridad acerca de sus objetivos y resultados esperados.

RECOMENDACIONES

El principio de equidad intergeneracional podría ser un buen instrumento para determinar la política de aprovechamiento sobre el bosque natural en Colombia. Este modelo asegura la permanencia de un mayor stock en bosque natural, 33'067.333 has, permitiendo una extracción de 3'328.778 has, que pueden ser planificadas por medio de rotaciones de acuerdo al turno forestal óptimo con líneas de enriquecimiento como manejo silvicultural y según el comportamiento de la demanda de productos forestales que se deba satisfacer por período; además se tendrá la posibilidad de obtener beneficios tanto ambientales como económicos por la captura de CO₂.

Las negociaciones por captura de CO₂ se adelantan generalmente en proyectos de nuevas plantaciones, desconociéndose el gran potencial que tienen los bosques naturales existentes en países en vía de desarrollo como Colombia. Sin embargo, al desarrollar programas de ordenación forestal del bosque natural se podrá plantear propuestas que involucren las áreas manejadas bajo los principios de desarrollo sostenible y acceder a los beneficios económicos que otorga este servicio ambiental por medio de las naciones signatarias del protocolo de Kyoto.

Las instituciones del orden nacional que infieren en el manejo del bosque natural en Colombia deben crear bases de datos, unificando criterios de evaluación de los recursos naturales para facilitar la aplicación de las nuevas tendencias tecnológicas y modelos bioeconómicos existentes que permitan mayor claridad acerca del manejo del sector forestal.

Es claro que este estudio solo pretende dar una aproximación acerca del manejo óptimo del bosque natural en Colombia; sin embargo, se puede tomar como referencia para estudiar las especies forestales individualmente o los tipos de ecosistema existentes y poder así contribuir con un mejor conocimiento de nuestros recursos dada su gran diversidad.

La creciente demanda por productos maderables y servicios ambientales exigen el ordenamiento del bosque natural, basado en prácticas silviculturales de aprovechamiento selectivo, en el que se tenga como prioridad la conservación genética de las especies objeto de aprovechamiento.

El bosque natural es un recurso del que se puede esperar una contribución significativa y superior al 1.1% actual en el PIB de Colombia con la puesta en marcha de la Ley General Forestal de tal forma que haya equidad, oportunidades para todos los inversionistas en el sector, disminución del riesgo en proyectos de largo plazo para la industria maderera nacional, definición clara de derechos y deberes, además del mejoramiento en la eficiencia de las Corporaciones Autónomas Regionales como entes reguladores de este recurso.

BIBLIOGRAFIA

Acosta, C. I., 2004. *Estudio de Tendencias y Perspectivas del Sector Forestal al 2020 de Colombia*. Roma, FAO, 99 p.

Aldana, V. C., 2003. *Las Externalidades Forestales*. Academia Colombiana de Ciencias Económicas. Santa Fe de Bogotá, 43 p.

Amaral, P. H. C., Verrisimo, J. A. de O., Barreto, P. G., Vidal, E. J. Da S., 1998. *Bosque Para Siempre: un Manual para la Producción de Madera en la Amazonía*. World Wildlife Fund (WWF), Belem: AMAZON, 162 p.

Banco Mundial, 1991. *El Sector Forestal*. Documento de política.

Bases de Datos de FAO, 1961 – 2004. *Producción Forestal Proveniente de Bosques Naturales y de Plantaciones Comerciales de Especies Exóticas*. Datos corte transversal.

Cabrera, Pe R. J., 2002. *El Mercado del CO₂, Características y Elementos Críticos*. Instituto Forestal, Santiago de Chile, 25 p.

Chichilnisky G. y Heal G., 1994. *Who Should Abate Carbon Emissions: An International Viewpoint*. Economics Letters, pages 443 – 449.

Conrad, J. M., 1999. *Natural Resources Economics*. Cornell University, United States of America, 206 p.

Contraburía General de la Republica, 1992. *Informe Sobre el Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente*. Santafé de Bogotá D.C.

Contraburía General de la Republica, 1996. *Informe Sobre el Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente*. Santafé de Bogotá D.C.

Contraburía General de la Republica, 2001 – 2002. *Informe Sobre el Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente*. Santafé de Bogotá D.C.

Departamento de Planeación Nacional, 1991. *Plan de Acción Forestal para Colombia*. Santafé de Bogotá D.C.

Gerencia del PNDF, 2004. Agencia Colombiana de Cooperación Internacional, Comité Interinstitucional del Plan Nacional de Desarrollo Forestal – PNDF. Bloque temático: Bosques. Bogotá D.C.

González, F., 1998. *Inventario Preliminar de Gases Efecto Invernadero, Fuentes y Sumideros*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Santafé de Bogotá, D.C., 36 p.

Martínez, G. A., 2000. *Elementos que Delimitan la Valoración de un Bien o Servicio Ambiental*. Instituto Nacional de Ecología, México, 24 p.

Molano, M, 2000. *Las Plantaciones Forestales como Sumideros de CO₂*. Universidad Distrital y Empresa Nacional Minera –MINERCOOL Santafé de Bogotá, D.C., 16 p.

Motta, M. T., 1989. *Industria Forestal Colombiana*. Departamento nacional de planeación, v 1, p 48, Bogotá D. C.

Nicholson, W., 1997. *Teoría Microeconómica: Principios Básicos y Aplicaciones*. Amherst College, España, Págs. 127 - 141.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2004. *Plan a Plazo Medio*. Roma.

Romero, C., 1997. *Economía de los recursos ambientales y naturales*. Universidad Politécnica de Madrid. Ed. Alianza, Págs. 121 – 157.

Sedjo, R. y Sonhgen, B., 2000. *Forestry Sequestration of CO₂ and Markets for Timber*. Resources of the Future. Discussion Paper 00-35, Washinton D.C.

Sonhgen, B., Mendelsohn, R., Sedjo, R., Lyon, K., 1997. *An Analysis of Global Timber Markets*. Resources of the Future, Discussion paper 97-37, Washington D.C., pages 2 –5.

Tecniforest, Ltda., 1999. *Informe Final, Evaluación de la Oferta y la Demanda Nacional de Productos Forestales Maderables y no Maderables*. Santafé de Bogotá, 39 p.

ANEXO A

Tabla A.1 Uso de tierras en Colombia

Año	Superf agrícola (1000Ha)	Praderas&Pastos (1000Ha)	TerrFor& MontesAbiertos (1000Ha)
1961	39.970	35.000	59000
1962	40.972	36.000	58700
1963	41.493	36.500	58400
1964	41.995	37.000	58100
1965	43.008	38.000	57950
1966	43.020	38.000	57950
1967	43.023	38.000	57950
1968	43.025	38.000	57950
1969	43.030	38.000	57950
1970	43.030	38.000	57950
1971	45.054	40.000	56000
1972	45.068	40.000	56000
1973	45.084	40.000	56000
1974	45.099	40.000	56000
1975	45.115	40.000	56000
1976	45.130	40.000	56000
1977	45.315	40.169	55000
1978	45.261	40.100	55000
1979	45.277	40.100	55000
1980	45.292	40.100	55000
1981	45.308	40.100	55000
1982	45.323	40.100	55000
1983	45.339	40.100	55000
1984	45.356	40.100	55000
1985	45.375	40.100	54500
1986	45.395	40.100	54500
1987	45.401	40.083	54500
1988	45.283	40.083	54500
1989	45.183	40.083	54500
1990	45.083	40.083	54299
1991	44.884	40.083	54000
1992	44.983	40.083	53500
1993	44.903	40.083	53000
1994	44.865	40.083	53000
1995	44.513	40.083	50137
1996	44.920	40.824	50133
1997	45.082	40.825	50004
1998	45.543	41.166	49919
1999	45.668	41.304	49805
2000	45.465	40.920	49674
2001	46.049	41.800	49642
2002	45.911	42.061	49542

Fuente: FAO

Tabla A.2 Productos forestales

AÑO	Importaciones (1000 US\$)	Exportaciones (1000 US\$)
1961	25.713	2.210
1962	24.423	2.286
1963	20.098	3.289
1964	20.131	4.306
1965	19.372	4.217
1966	27.158	4.019
1967	19.733	4.449
1968	24.768	6.490
1969	25.884	7.284
1970	30.698	6.641
1971	28.891	8.736
1972	31.360	8.062
1973	28.742	9.911
1974	67.987	7.113
1975	52.892	4.193
1976	51.023	4.249
1977	47.716	4.349
1978	52.171	4.354
1979	94.896	13.945
1980	120.893	13.924
1981	171.001	15.784
1982	161.459	7.634
1983	119.850	9.339
1984	104.396	16.405
1985	182.022	13.952
1986	164.623	14.052
1987	164.953	15.413
1988	209.194	18.138
1989	191.869	20.060
1990	189.326	16.315
1991	202.380	26.114
1992	215.251	38.212
1993	183.210	18.481
1994	231.295	25.382
1995	417.101	71.414
1996	374.419	57.304
1997	370.617	69.918
1998	352.863	71.019
1999	316.018	79.370
2000	359.811	92.659
2001	354.486	108.011
2002	342.276	130.633
2003	415.446	142.829
2004	415.446	142.829

Fuente: FAO

Tabla A.3 Madera en rollo

Año	Producción (miles deCum)	Importaciones (miles deCum)	Importaciones valor (1000\$)	Exportaciones (miles deCum)	Exportaciones valor (1000\$)
1961	8.435,06	0,30	61,00	52,60	675,00
1962	8.127,23	0,50	71,00	84,90	776,00
1963	8.194,67	0,20	15,00	92,60	846,00
1964	8.247,37	1,60	191,00	66,10	741,00
1965	8.290,34	0,00	0,00	87,50	901,00
1966	8.478,57	0,00	0,00	89,10	751,00
1967	8.587,07	0,00	0,00	41,80	535,00
1968	8.635,84	0,00	0,00	41,50	480,00
1969	8.460,88	52,60	2.403,00	49,50	518,00
1970	8.500,20	47,80	3.200,00	78,30	1.140,00
1971	8.579,67	0,00	0,00	37,00	590,00
1972	9.209,58	0,00	0,00	37,30	807,00
1973	9.368,52	0,00	0,00	43,40	1.931,00
1974	8.696,47	0,00	0,00	24,50	751,00
1975	8.826,43	0,00	0,00	6,50	234,00
1976	8.876,93	0,00	0,00	6,50	234,00
1977	8.941,42	0,00	0,00	6,50	234,00
1978	8.949,71	0,00	0,00	6,50	234,00
1979	9.296,40	0,00	0,00	0,00	0,00
1980	9.111,82	0,00	0,00	0,00	0,00
1981	9.097,85	0,00	0,00	0,00	0,00
1982	8.919,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1983	9.159,07	0,00	0,00	0,00	0,00
1984	9.333,71	0,00	0,00	0,00	0,00
1985	9.601,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1986	10.197,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1987	10.243,16	0,00	0,00	0,00	0,00
1988	10.309,60	0,00	0,00	0,00	0,00
1989	10.385,49	0,00	0,00	0,00	0,00
1990	10.448,61	0,00	0,00	0,16	21,00
1991	10.496,89	0,18	21,00	0,18	28,00
1992	9.747,43	6,26	1.700,00	0,12	17,00
1993	9.627,25	4,32	360,00	0,02	13,00
1994	9.511,58	6,26	891,00	6,85	479,00
1995	9.500,32	2,39	193,00	9,00	746,00
1996	9.536,45	2,00	303,00	2,50	391,00
1997	9.569,62	6,70	745,00	12,10	1.535,00
1998	10.123,51	11,50	1.257,00	17,00	1.500,00
1999	10.590,00	0,70	51,00	17,00	1.360,00
2000	13.057,00	0,00	0,00	20,50	1.618,00
2001	12.501,00	0,00	0,00	13,10	1.575,00
2002	11.610,00	0,00	0,00	19,00	2.904,00
2003	9.958,51	0,03	10,00	20,13	2.964,00
2004	10.023,28	0,03	10,00	20,13	2.964,00

Fuente: FAO

Tabla A.4 Madera aserrada

Año	Producción (miles de Cum)	Importaciones (miles de Cum)	Importaciones valor (1000 US\$)	Exportaciones (miles de Cum)	Exportaciones valor (1000 US\$)
1961	1.044,0	0,500	25,00	38,400	1.535,00
1962	1.065,0	0,200	10,00	32,700	1.453,00
1963	985,0	0,000	0,00	49,200	1.976,00
1964	985,0	0,500	55,00	82,600	3.159,00
1965	985,0	0,000	0,00	44,400	2.308,00
1966	1.005,0	1,900	232,00	47,200	2.192,00
1967	1.025,0	2,100	333,00	55,000	2.676,00
1968	1.060,0	0,000	0,00	104,200	4.735,00
1969	1.052,0	0,900	24,00	150,200	5.473,00
1970	1.100,0	0,600	21,00	157,200	4.092,00
1971	1.180,0	0,600	32,00	122,000	6.044,00
1972	1.257,8	0,400	33,00	96,200	4.354,00
1973	1.261,0	0,200	23,00	99,600	6.082,00
1974	934,0	0,000	0,00	51,000	4.635,00
1975	954,0	0,200	31,00	23,200	3.002,00
1976	934,0	0,200	31,00	23,200	3.002,00
1977	934,0	0,200	31,00	23,200	3.002,00
1978	934,0	0,200	31,00	23,200	3.002,00
1979	983,0	0,200	31,00	29,100	4.273,00
1980	970,0	6,500	1.365,00	11,200	2.597,00
1981	1.006,0	4,700	1.008,00	11,900	4.807,00
1982	721,2	1,800	390,00	2,300	536,00
1983	721,2	1,200	277,00	1,800	297,00
1984	603,0	12,800	3.109,00	1,100	167,00
1985	655,0	12,800	3.109,00	1,100	167,00
1986	813,0	0,900	220,00	1,100	167,00
1987	813,0	1,700	290,00	5,800	850,00
1988	813,0	11,400	2.258,00	1,400	717,00
1989	813,0	7,800	1.029,00	1,200	412,00
1990	813,0	3,800	936,00	9,600	2.157,00
1991	813,0	3,800	936,00	18,700	3.365,00
1992	758,0	6,475	2.019,00	22,632	4.288,00
1993	694,0	31,548	3.818,00	1,578	563,00
1994	644,0	10,627	2.310,00	1,685	684,00
1995	644,0	15,000	2.349,00	9,700	2.105,00
1996	1.134,0	4,600	1.473,00	3,000	950,00
1997	1.085,0	15,500	3.995,00	5,900	1.037,00
1998	910,0	6,400	1.693,00	2,500	569,00
1999	730,0	6,400	1.530,00	8,700	2.004,00
2000	587,0	2,100	195,00	4,500	1.365,00
2001	539,0	0,500	126,00	3,800	1.112,00
2002	527,0	18,100	4.547,00	18,500	7.106,00
2003	599,0	13,384	2.319,00	15,731	4.321,00
2004	599,0	13,384	2.319,00	15,731	4.321,00

Fuente: FAO

Tabla A.5 Corbustible de leña

Año	Producción (miles de Cum)	Importaciones (miles de Cum)	Importaciones valor (1000\$)
1961	5305,055	0	0
1962	5342,233	0	0
1963	5379,673	0	0
1964	5417,374	0	0
1965	5455,34	0	0
1966	5493,572	0	0
1967	5532,071	0	0
1968	5570,841	0	0
1969	5609,882	0	0
1970	5649,197	0	0
1971	5693,665	0	0
1972	5704,578	0	0
1973	5719,523	0	0
1974	5745,468	0	0
1975	5824,431	0	0
1976	5874,931	0	0
1977	5939,422	0	0
1978	5947,714	0	0
1979	5995,401	0	0
1980	6057,822	0	0
1981	6143,851	0	0
1982	6246,014	0	0
1983	6340,072	0	0
1984	6406,712	0	0
1985	6480,013	0	0
1986	6513,999	0	0
1987	6560,156	0	0
1988	6626,598	0	0
1989	6702,489	0	0
1990	6765,607	0	0
1991	6871,886	0	0
1992	6937,426	0	0
1993	6982,25	0	0
1994	7016,583	0,587	29
1995	7055,319	0,587	29
1996	7141,448	0	0
1997	7208,619	0	0
1998	7390,511	0	0
1999	8194	0	0
2000	10893	0	0
2001	10760	0	0
2002	9598	0	0
2003	7890,513	0,028	10
2004	7955,283	0,028	10

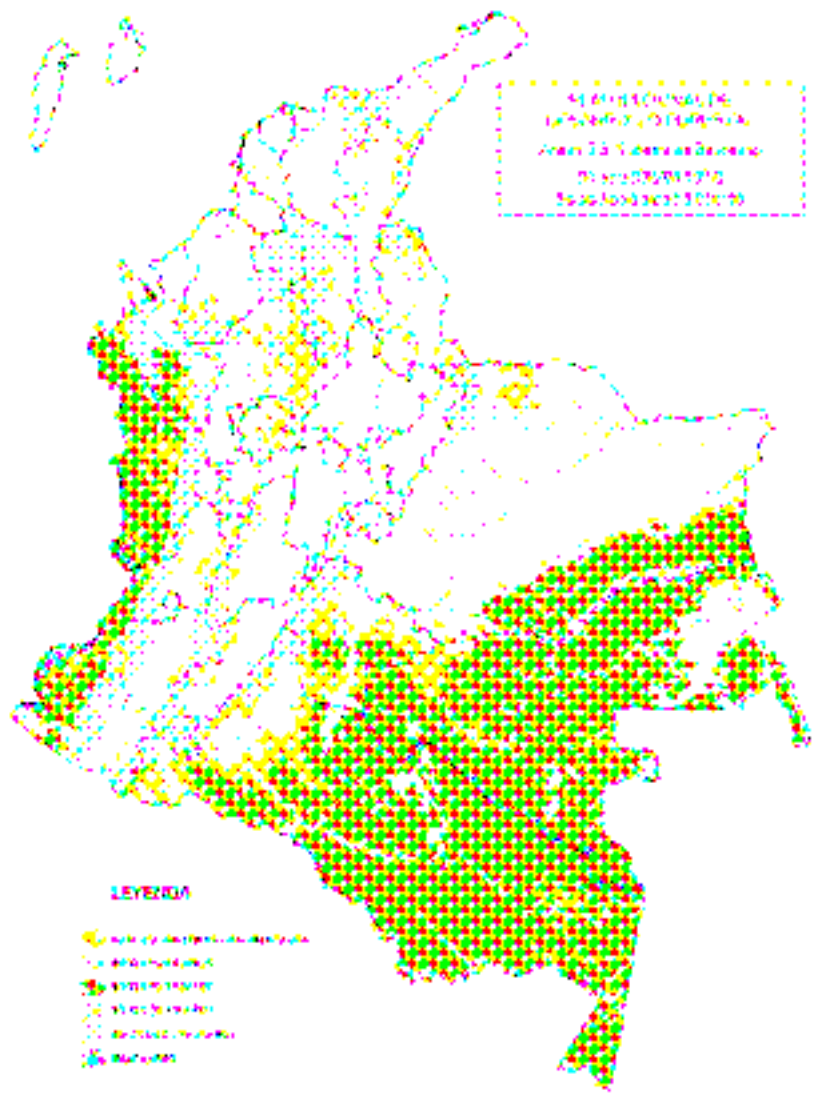
Fuente: FAO

Tabla A.6 Pulpa de madera

Año	Producción cant (Mt)	Importaciones cant (Mt)	Importaciones valor (1000\$)	Exportaciones cant (Mt)	Exportaciones valor (1000\$)
1961	16.600	41.800	5.713	0	0
1962	27.000	41.500	6.006	0	0
1963	39.000	52.200	7.077	0	0
1964	41.000	51.400	7.387	0	0
1965	52.000	49.600	7.429	0	0
1966	77.000	66.200	10.658	0	0
1967	70.000	31.600	5.408	0	0
1968	83.000	42.900	7.702	0	0
1969	104.000	51.500	7.273	0	0
1970	112.000	51.800	7.290	0	0
1971	120.000	34.400	6.848	0	0
1972	145.000	51.600	10.067	0	0
1973	151.000	20.700	5.129	0	0
1974	176.000	46.700	21.242	0	0
1975	136.000	14.300	7.133	0	0
1976	167.000	14.300	7.133	0	0
1977	178.000	14.300	7.133	0	0
1978	192.000	14.300	7.133	0	0
1979	201.000	38.100	19.446	0	0
1980	207.000	44.800	25.428	0	0
1981	214.000	60.600	35.394	0	0
1982	194.000	50.100	23.936	0	0
1983	189.000	45.600	22.388	0	0
1984	189.000	64.000	33.892	0	0
1985	228.000	56.900	27.900	0	0
1986	235.000	42.100	21.095	0	0
1987	246.000	28.800	17.984	0	0
1988	248.000	46.800	34.870	0	0
1989	248.000	41.500	29.849	0	0
1990	266.000	33.100	21.443	0	0
1991	270.000	52.200	35.300	0	0
1992	295.000	69.003	43.441	0	0
1993	294.000	62.797	28.720	23	4
1994	311.000	83.955	43.859	0	0
1995	313.000	72.300	57.503	0	0
1996	307.000	73.900	46.719	0	0
1997	317.000	84.100	47.317	0	0
1998	313.000	95.400	51.600	900	569
1999	333.000	96.600	51.670	600	426
2000	362.000	175.200	75.551	1.300	541
2001	346.000	108.300	62.797	700	449
2002	358.000	175.500	76.009	700	409
2003	379.000	172.837	90.311	1.974	1.076
2004	381.000	172.837	90.311	1.974	1.076

Fuente: FAO

ANEXO B



ANEXOC

Tabla C.1. Tendencia en el aprovechamiento del bosque natural en Colombia

$\delta =$	0,05		
$\rho =$	0,952		
$\lambda =$	0		
precio (\$/ha)	882,71		
costo (\$/ha)	264,81		
$\gamma =$	0,03	Incremento anual esperado en la extracción	
T(años)	Yt*	Xt*	PVNBt**
0	238.813	49.601.000	154.939
1	245.977	49.362.188	151.988
2	253.356	49.116.211	149.093
3	260.957	48.862.854	146.253
4	268.786	48.601.898	143.467
5	276.849	48.333.112	140.734
6	285.155	48.056.263	138.054
7	293.709	47.771.108	135.424
8	302.521	47.477.399	132.845
9	311.596	47.174.878	130.314
10	320.944	46.863.282	127.832
11	330.572	46.542.338	125.397
12	340.490	46.211.766	123.009
13	350.704	45.871.276	120.666
14	361.225	45.520.572	118.367
15	372.062	45.159.347	116.113
16	383.224	44.787.285	113.901
17	394.721	44.404.061	111.731
18	406.562	44.009.340	109.603
19	418.759	43.602.778	107.515
20	431.322	43.184.019	105.468
21	444.262	42.752.697	103.459
22	457.589	42.308.435	101.488
23	471.317	41.850.846	99.555
24	485.457	41.379.529	97.659
25	500.020	40.894.072	95.798
26	515.021	40.394.052	93.974
27	530.472	39.879.031	92.184
28	546.386	39.348.559	90.428
29	562.777	38.802.173	88.705
30	579.661	38.239.396	87.016
31	597.050	37.659.735	85.358
32	614.962	37.062.685	83.732
33	633.411	36.447.723	82.138
34	652.413	35.814.312	80.573
35	671.986	35.161.899	79.038
36	692.145	34.489.914	77.533
37	712.909	33.797.768	76.056

Continuación tabla C.1

38	734.297	33.084.859	74.607
39	756.326	32.350.562	73.186
40	779.015	31.594.237	71.792
41	802.386	30.815.221	70.425
42	826.457	30.012.835	69.083
43	851.251	29.186.378	67.767
44	876.789	28.335.127	66.477
45	903.092	27.458.338	65.210
46	930.185	26.555.246	63.968
47	958.091	25.625.061	62.750
48	986.833	24.666.970	61.555
49	1.016.438	23.680.137	60.382
50	1.046.932	22.663.698	59.232
51	1.078.340	21.616.767	58.104
52	1.110.690	20.538.427	56.997
53	1.144.010	19.427.737	55.911
54	1.178.331	18.283.727	54.846
55	1.213.681	17.105.396	53.802
56	1.250.091	15.891.716	52.777
57	1.287.594	14.641.625	51.772
58	1.326.222	13.354.031	50.786
59	1.366.008	12.027.809	49.818
60	1.406.988	10.661.801	48.869
61	1.449.198	9.254.813	47.938
62	1.492.674	7.805.615	47.025
63	1.537.454	6.312.940	46.130
64	1.583.578	4.775.486	45.251
65	1.631.085	3.191.908	44.389
66	1.680.018	1.560.823	43.544
67	1.730.418	-119.195	0
* ha			
** miles de US\$		PVNBt=	5.891.799

Fuente: Cálculos del Autor

ANEXO D

Tabla D.1. Desarrollo sostenible para el bosque natural en Colombia

r	0,302	ton/ha/año		
K	49601	miles de ha		
delta	0,05			
X'	20694,457	Y	3642,224	
X _{msy}	24800,500	Y _{msy}	3744,876	
X''	30329,971	Y''	3558,717	
X'''	33067,333	Y'''	3328,778	
X(miles de ha)	Y=rX(1-X/K)	<i>Continuación:</i>	X(miles de ha)	Y=rX(1-X/K)
0	0		25250	3743,645
250	75,119		25500	3741,896
500	149,478		25750	3739,386
750	223,075		26000	3736,115
1000	296,911		26250	3732,083
1250	367,987		26500	3727,290
1500	439,301		26750	3721,736
1750	509,854		27000	3715,420
2000	579,646		27250	3708,344
2250	648,677		27500	3700,506
2500	716,946		27750	3691,908
2750	784,455		28000	3682,548
3000	851,203		28250	3672,427
3250	917,189		28500	3661,545
3500	982,415		28750	3649,902
3750	1046,879		29000	3637,498
4000	1110,583		29250	3624,333
4250	1173,525		29500	3610,407
4500	1235,706		29750	3595,720
4750	1297,126		30000	3580,272
5000	1357,785		30250	3564,062
5250	1417,683		30500	3547,092
5500	1476,820		30750	3529,361
5750	1535,196		31000	3510,868
6000	1592,811		31250	3491,614
6250	1649,665		31500	3471,600
6500	1705,757		31750	3450,824
6750	1761,089		32000	3429,287
7000	1815,659		32250	3406,989
7250	1869,469		32500	3383,930
7500	1922,517		32750	3360,110
7750	1974,804		33000	3335,529
8000	2026,330		33250	3310,187
8250	2077,096		33500	3284,083
8500	2127,100		33750	3257,219

Continuación tabla D.1

8750	2176,343		34000	3229,594
9000	2224,824		34250	3201,207
9250	2272,545		34500	3172,059
9500	2319,505		34750	3142,151
9750	2365,704		35000	3111,481
10000	2411,141		35250	3080,050
10250	2455,818		35500	3047,858
10500	2499,733		35750	3014,905
10750	2542,888		36000	2981,191
11000	2585,281		36250	2946,716
11250	2626,913		36500	2911,480
11500	2667,784		36750	2875,483
11750	2707,894		37000	2838,725
12000	2747,243		37250	2801,205
12250	2785,831		37500	2762,925
12500	2823,658		37750	2723,883
12750	2860,724		38000	2684,080
13000	2897,029		38250	2643,517
13250	2932,572		38500	2602,192
13500	2967,355		38750	2560,106
13750	3001,377		39000	2517,259
14000	3034,637		39250	2473,651
14250	3067,136		39500	2429,282
14500	3098,875		39750	2384,152
14750	3129,852		40000	2338,261
15000	3160,068		40250	2291,609
15250	3189,523		40500	2244,195
15500	3218,217		40750	2196,021
15750	3246,150		41000	2147,085
16000	3273,322		41250	2097,389
16250	3299,733		41500	2046,931
16500	3325,382		41750	1995,712
16750	3350,271		42000	1943,733
17000	3374,398		42250	1890,992
17250	3397,765		42500	1837,490
17500	3420,370		42750	1783,227
17750	3442,215		43000	1728,203
18000	3463,298		43250	1672,418
18250	3483,620		43500	1615,871
18500	3503,181		43750	1558,564
18750	3521,981		44000	1500,496
19000	3540,020		44250	1441,666
19250	3557,298		44500	1382,076
19500	3573,815		44750	1321,724
19750	3589,571		45000	1260,611
20000	3604,565		45250	1198,738
20250	3618,799		45500	1136,103
20500	3632,271		45750	1072,707
20750	3644,983		46000	1008,550
21000	3656,933		46250	943,632

Continuación tabla D.1

21250	3668,122		46500	877,953
21500	3678,551		46750	811,513
21750	3688,218		47000	744,311
22000	3697,124		47250	676,349
22250	3705,269		47500	607,626
22500	3712,653		47750	538,141
22750	3719,276		48000	467,896
23000	3725,138		48250	396,889
23250	3730,238		48500	325,121
23500	3734,578		48750	252,593
23750	3738,156		49000	179,303
24000	3740,974		49250	105,252
24250	3743,030		49500	30,440
24500	3744,326		49601	0
24750	3744,860			
25000	3744,633			

Fuente: Cálculos del Autor

ANEXO E

Tabla E.1. Estimación Econométrica, Ecuación (18)

regress Qt edad edad2 edad3, noconstant

Source	SS	df	MS			
-----+-----				Number of obs =	14	
Model	5.1307e+10	3	1.7102e+10	F(3, 11) =	1904.28	
Residual	98791895.9	11	8981081.45	Prob > F =	0.0000	
-----+-----				R-squared =	0.9981	
Total	5.1406e+10	14	3.6719e+09	Adj R-squared =	0.9976	
				Root MSE =	2996.8	

Qt	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
-----+-----						
edad	-336.6588	85.34285	-3.94	0.002	-524.4972	-148.8205
edad2	15.99556	1.592873	10.04	0.000	12.48967	19.50145
edad3	-.0652046	.0070847	-9.20	0.000	-.0807979	-.0496113

ANEXO F

Tabla F.1. Determinación del Incremento Volumétrico Comercial Anual para el Bosque Natural y su Relación con la Captura de Dióxido de Carbono.

Coeficientes estimados Ecuación (19)		Especificación elementos ecuación (18)		
alfa =	-336,6588	Precio promedio esperado por captura de CO ₂ =	4	US\$/ton CO ₂
beta =	15,99556	fd =	0,43	(t/m ³)
gamma =	-0,0652046	fe =	1,5	(biomasa/t)
		fC =	0,5	(C/biomasa)
		fCO ₂ =	3,667	(CO ₂ /C)
		1 Ft tablar =	0,0283168	m ³
		1 acre =	0,4047	ha
t	Qt (Ft tablares/acre)	Qt (m ³ /ha)	Captura de CO ₂	Valor Captura CO ₂
1	-320,73			
2	-609,86			
3	-867,78			
4	-1094,88			
5	-1291,56			
6	-1458,20			
7	-1595,19			
8	-1702,94			
9	-1781,82			
10	-1832,24			
11	-1854,57			
12	-1849,22			
13	-1816,57			
14	-1757,01			
15	-1670,95			
16	-1558,76			
17	-1420,83			
18	-1257,57			
19	-1069,36			
20	-856,59			
21	-619,65			
22	-358,94			
23	-74,85			
24	232,24	16,25	19,22	76,87
25	561,93	39,32	27,28	109,12
26	913,83	63,94	29,12	116,47
27	1287,55	90,09	30,92	123,70
28	1682,70	117,74	32,70	130,79
29	2098,89	146,86	34,44	137,75
30	2535,72	177,42	36,15	144,59
31	2992,80	209,41	37,82	151,29
32	3469,75	242,78	39,47	157,86
33	3966,17	277,51	41,08	164,31
34	4481,67	313,58	42,66	170,62

Continuación tabla F.1

35	5015,86	350,96	44,20	176,81
36	5568,34	389,62	45,72	182,87
37	6138,74	429,53	47,20	188,79
38	6726,65	470,66	48,65	194,59
39	7331,68	513,00	50,06	200,26
40	7953,45	556,50	51,45	205,80
41	8591,56	601,15	52,80	211,21
42	9245,62	646,91	54,12	216,49
43	9915,24	693,77	55,41	221,64
44	10600,03	741,68	56,66	226,66
45	11299,59	790,63	57,89	231,55
46	12013,55	840,59	59,08	236,31
47	12741,49	891,52	60,24	240,94
48	13483,04	943,41	61,36	245,44
49	14237,80	996,22	62,45	249,82
50	15005,39	1049,92	63,52	254,06
51	15785,40	1104,50	64,54	258,17
52	16577,45	1159,92	65,54	262,16
53	17381,15	1216,16	66,50	266,01
54	18196,10	1273,18	67,43	269,74
55	19021,92	1330,96	68,33	273,34
56	19858,21	1389,48	69,20	276,80
57	20704,59	1448,70	70,03	280,14
58	21560,65	1508,60	70,84	283,35
59	22426,02	1569,15	71,61	286,43
60	23300,29	1630,32	72,34	289,37
61	24183,09	1692,09	73,05	292,19
62	25074,01	1754,42	73,72	294,88
63	25972,66	1817,30	74,36	297,44
64	26878,66	1880,70	74,97	299,87
65	27791,61	1944,57	75,54	302,17
66	28711,12	2008,91	76,09	304,35
67	29636,80	2073,68	76,60	306,39
68	30568,26	2138,86	77,08	308,30
69	31505,11	2204,41	77,52	310,08
70	32446,95	2270,31	77,93	311,74
71	33393,40	2336,53	78,32	313,26
72	34344,06	2403,05	78,66	314,66
73	35298,55	2469,83	78,98	315,92
74	36256,47	2536,86	79,26	317,06
75	37217,42	2604,10	79,52	318,07
76	38181,03	2671,52	79,74	318,94
77	39146,90	2739,10	79,92	319,69
78	40114,63	2806,81	80,08	320,31
79	41083,83	2874,63	80,20	320,80
80	42054,12	2942,52	80,29	321,15
81	43025,11	3010,46	80,35	321,38
82	43996,39	3078,42	80,37	321,48
83	44967,59	3146,38	80,36	321,45
84	45938,30	3214,30	80,32	321,29

Continuación tabla F.1

85	46908,15	3282,16	80,25	321,01
86	47876,73	3349,93	80,15	320,59
87	48843,65	3417,58	80,01	320,04
88	49808,53	3485,10	79,84	319,36
89	50770,98	3552,44	79,64	318,56
90	51730,59	3619,58	79,41	317,62
91	52686,99	3686,50	79,14	316,55
92	53639,77	3753,17	78,84	315,36
93	54588,55	3819,55	78,51	314,04
94	55532,94	3885,63	78,15	312,58
95	56472,55	3951,38	77,75	311,00
96	57406,98	4016,76	77,32	309,28
97	58335,84	4081,75	76,86	307,44
98	59258,75	4146,33	76,37	305,47
99	60175,30	4210,46	75,84	303,37
100	61085,12	4274,12	75,28	301,14
101	61987,80	4337,28	74,69	298,78
102	62882,97	4399,91	74,07	296,29
103	63770,21	4461,99	73,42	293,67
104	64649,15	4523,49	72,73	290,92
105	65519,40	4584,38	72,01	288,04
106	66380,56	4644,64	71,26	285,03
107	67232,24	4704,23	70,47	281,89
108	68074,04	4763,13	69,66	278,63
109	68905,59	4821,31	68,81	275,23
110	69726,49	4878,75	67,93	271,71
111	70536,34	4935,42	67,01	268,05
112	71334,75	4991,28	66,07	264,27
113	72121,34	5046,32	65,09	260,35
114	72895,71	5100,50	64,08	256,31
115	73657,47	5153,80	63,03	252,13
116	74406,24	5206,19	61,96	247,83
117	75141,61	5257,65	60,85	243,40
118	75863,19	5308,14	59,71	238,84
119	76570,61	5357,63	58,54	234,15
120	77263,46	5406,11	57,33	229,32
121	77941,35	5453,55	56,09	224,37
122	78603,90	5499,90	54,82	219,29
123	79250,71	5545,16	53,52	214,09
124	79881,38	5589,29	52,19	208,75
125	80495,54	5632,26	50,82	203,28
126	81092,78	5674,05	49,42	197,68
127	81672,73	5714,63	47,99	191,95
128	82234,97	5753,97	46,52	186,10
129	82779,13	5792,04	45,03	180,11
130	83304,81	5828,83	43,50	173,99
131	83811,63	5864,29	41,94	167,75
132	84299,18	5898,40	40,34	161,37
133	84767,09	5931,14	38,72	154,87
134	85214,95	5962,48	37,06	148,24

Continuación tabla F.1

135	85642,38	5992,38	35,37	141,47
136	86048,98	6020,83	33,65	134,58
137	86434,37	6047,80	31,89	127,56
138	86798,15	6073,25	30,10	120,41
139	87139,93	6097,17	28,28	113,13
140	87459,32	6119,52	26,43	105,71
141	87755,93	6140,27	24,54	98,17
142	88029,37	6159,40	22,63	90,51
143	88279,25	6176,89	20,68	82,71
144	88505,17	6192,69	18,69	74,78
145	88706,75	6206,80	16,68	66,72
146	88883,59	6219,17	14,63	58,53
147	89035,30	6229,79	12,55	50,21
148	89161,49	6238,62	10,44	41,77
149	89261,77	6245,63	8,30	33,19
150	89335,76	6250,81	6,12	24,49
151	89383,04	6254,12	3,91	15,65
152	89403,24	6255,53	1,67	6,69
153	89395,97	6255,02		
154	89360,83	6252,56		
155	89297,44	6248,13		
156	89205,39	6241,69		
157	89084,30	6233,22		
158	88933,78	6222,68		
159	88753,44	6210,07		
160	88542,89	6195,33		
161	88301,73	6178,46		
162	88029,57	6159,42		
163	87726,02	6138,18		
164	87390,70	6114,71		
165	87023,21	6089,00		
166	86623,15	6061,01		
167	86190,14	6030,71		
168	85723,79	5998,08		
169	85223,70	5963,09		
170	84689,49	5925,71		
171	84120,76	5885,92		
172	83517,12	5843,68		
173	82878,18	5798,97		
174	82203,55	5751,77		
175	81492,83	5702,04		
176	80745,64	5649,76		
177	79961,59	5594,90		
178	79140,28	5537,43		
179	78281,33	5477,33		
180	77384,33	5414,57		
181	76448,91	5349,12		
182	75474,66	5280,95		
183	74461,20	5210,04		
184	73408,14	5136,36		

Continuación tabla F.1

185	72315,09	5059,88		
186	71181,65	4980,57		
187	70007,43	4898,41		
188	68792,04	4813,37		
189	67535,09	4725,42		
190	66236,19	4634,54		
191	64894,95	4540,69		
192	63510,98	4443,85		
193	62083,88	4344,00		
194	60613,27	4241,10		
195	59098,74	4135,13		
196	57539,93	4026,06		
197	55936,42	3913,86		
198	54287,83	3798,51		
199	52593,76	3679,98		
200	50853,84	3558,24		
201	49067,66	3433,26		
202	47234,84	3305,01		
203	45354,97	3173,48		
204	43427,68	3038,63		
205	41452,58	2900,43		
206	39429,26	2758,86		
207	37357,33	2613,89		
208	35236,42	2465,49		
209	33066,12	2313,63		
210	30846,05	2158,29		
211	28575,81	1999,45		
212	26255,01	1837,06		
213	23883,26	1671,11		
214	21460,17	1501,57		
215	18985,35	1328,40		
216	16458,41	1151,59		
217	13878,95	971,11		
218	11246,59	786,92		
219	8560,93	599,01		
220	5821,59	407,34		
221	3028,16	211,88		
222	180,27	12,61		
223	-2722,49	-190,49		

Fuente: Cálculos del Autor